



**José Augusto de
Abreu Peixoto
Fernandes**

**Potencialidades dos depósitos pegmatíticos de
quartzo e de feldspato em Portugal**



**José Augusto de
Abreu Peixoto
Fernandes**

**Potencialidades dos depósitos pegmatíticos de
quartzo e de feldspato em Portugal**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José António Lopes Velho, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Dr. Carlos Alberto Diogo Soares Borrego
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. José António Simões Cortez
Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Dr. Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. José António Ganilho Lopes Velho
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Mário Oliveira Quinta Ferreira
Professor Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Dr. Joaquim Eduardo de Sousa Góis
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Dr. Hélder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia do Porto do IPP

agradecimentos

Ao apresentar esta dissertação quero expressar o meu agradecimento a todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para a sua realização:

Ao Professor Doutor Lopes Velho (UA), pela orientação deste trabalho, cujo acompanhamento e disponibilidade muito ajudaram a consolidar o presente estudo.

Ao Professor Catedrático Doutor Celso F. Gomes (UA), pelas palavras amigas e conselhos que sempre me endereçou.

Ao Professor Catedrático Engenheiro Alberto M. Cerveira (FEUP) agradeço a sua amizade, o seu sempre disponível apoio e palavras incentivadoras ao longo da realização do presente trabalho.

Ao Professor Carlos Leal Gomes (UM) pelas sugestões e troca de impressões sobre a génese e tratamento dos pegmatitos, tema este que nos aproximou profissional e pessoalmente.

Ao meu amigo e colega Professor Doutor Joaquim Góis (FEUP) pela ajuda no tratamento estatístico apresentado neste trabalho.

Ao Professor Doutor A. Guerner Dias, do Departamento de Geologia da FCUP, pela colaboração ao proporcionar a consulta de informação geológica que, para este trabalho, se revelou de grande interesse.

Ao Eng^o. Philippe Sayed (DAM-Denain Anzain Mineraux) por me ter proporcionado as visitas às instalações de extracção e tratamento de quartzo em Boudeaux e Lyon (QPB), e de extracção e tratamento dos feldspatos de Montblanc (Boussac), assim com todos os ensaios aí realizados.

Aos geólogos Marcel Pouliquen, Fabienne Touchard, Severine Pannetier e Vincent Borde, da DAM, que me facultaram a informação obtida nas campanhas de prospecção e toda a troca de impressões que daí resultou.

Ao geólogo Philippe D'Agier (DAM) pela preciosa ajuda na logística para a preparação das amostras e ensaios de estabilidade térmica realizados sobre quartzo.

Ao Eng.^o Stein Christiansen, director da Fesil, agradeço todas as facilidades outorgadas para os ensaios que realizei nos laboratórios da empresa e pela ajuda logística na visita às instalações de produção de Fe-Si de Thronheim e Hola, na Noruega, e pela troca de informação técnica relativamente à utilização do quartzo nacional.

Ao director da Elkem, Eng^o Odvar Angelhaus, pela simpatia e oportunidade de visitar as instalações de produção de Fe-Si de Bremanger, na Noruega, e acompanhar o processo produtivo com o quartzo extraído em Portugal na produção de Si e microsilica, assim como a realização dos ensaios nos laboratórios da empresa.

Ao amigo Sören Ostherus agradeço a disponibilidade para as longas conversas sobre os mercados de quartzo e feldspato na Europa.

Ao Dr. Raul Xastre (Euroquartzo-Portugal, Lda.) agradeço a troca de impressões e companhia na visita a alguns dos depósitos estudados.

Ao meu amigo Sr. Karl Thöbe, gerente da Unizel-Minerais, Lda e ao Sr. Pedro Nunes de Almeida, gerente da Unizel - Minerais, Lda.e Unimil- Minerais, Lda., o meu agradecimento por facultar alguns relatórios de trabalho sobre o quartzo e utilização das instalações da Unimil, Lda. para a preparação de algumas das amostras ensaiadas.

Ao meu amigo Dr. Rui Vide (Felmica) agradeço a sua enorme disponibilidade e paciência para me receber nas visitas que efectuei à instalação de Mangualde.

Aos meus amigos e colegas Eng^a Joana Sampaio (Presidente do Departamento e Eng^a. Geotécnica e Geoambiente, do ISEP) e Eng^o António Vega (Director do Curso de Eng^a. Geotécnica e Geoambiente, do ISEP), agradeço a estima, a disponibilidade permanente e o entusiasmo com que sempre acompanharam o desenvolvimento deste estudo.

Ao Doutor Hélder Iglésias Chaminé (Professor Coordenador do Departamento e Eng^a. Geotécnica e Geoambiente, do ISEP) pela amizade, disponibilidade demonstrada e motivação ao longo deste trabalho.

A todos os meus colegas de Departamento agradeço as palavras amigas e incentivadoras ao longo dos anos que dediquei à realização deste trabalho.

Não posso deixar de agradecer à minha família, designadamente aos meus pais, cujo apoio foi indispensável para a consecução deste estudo.

Por último, à minha mulher e aos meus filhos, para os quais não encontro palavras capazes de expressar a minha gratidão pelo apoio, incentivo e paciência demonstrada ao longo dos anos que dediquei a este trabalho, sem os quais o mesmo não teria sido possível.

palavras-chave

Quartzo, feldspato, depósitos pegmatíticos, métodos de extracção, tecnologias de tratamento, produções e mercados do quartzo e feldspato, aplicações industriais.

resumo

O principal objectivo deste trabalho consiste em caracterizar e avaliar as potencialidades dos quartzos e feldspatos provenientes de pegmatitos, tendo em conta a especificidade dos diferentes mercados a que se destinam e a crescente procura que se tem vindo a registar relativamente àquelas matérias-primas.

Nesse sentido, essas matérias caracterizaram-se sob os pontos de vista químico e mineralógico, porque estes são os mais limitadores relativamente às aplicações industriais.

Contudo, também se incluiu neste trabalho a caracterização geológica dos depósitos pegmatíticos, as ocorrências geológicas de quartzo e feldspato nacionais, uma selecção dos métodos de prospecção e pesquisa susceptíveis de aplicação nestes depósitos, a definição de métodos de extracção e tecnologias de tratamento a aplicar, a caracterização das produções e mercados do quartzo e feldspato, nacionais e estrangeiros, a definição de áreas e respectivos enquadramentos geográfico e geológico, com potencial para a exploração e produção daqueles materiais, as técnicas de análise, química e mineralógica, adequadas à caracterização dos materiais pegmatíticos, uma avaliação das possíveis aplicações dos materiais, rochosos ou não rochosos, associados às formações pegmatíticas numa óptica de exploração integral, uma abordagem económica função da paragénesis dos depósitos em estudo e, por último, a definição de possíveis aplicações industriais para os quartzos e feldspatos aqui ensaiados.

Foram seleccionadas áreas geográficas onde a ocorrência de quartzo e feldspato proveniente de depósitos pegmatíticos é mais frequente, tais como os distritos de Braga, Viseu, Guarda, Castelo Branco e Évora.

keywords

Quartz, feldspar, pegmatitic deposits, extraction methods, processing technologies, quartz and feldspar productions and markets, industrial applications.

abstract

The main aim of this work is to characterize and evaluate the potentialities of the quartz and feldspar extracted from pegmatite, taking into account the specificity of the different markets they are destined for and the growing demand for these raw materials.

To this end, these materials are characterized chemically and mineralogically, since these aspects are the most restrictive when it comes to industrial applications.

Furthermore, this research also covers the geological characterization of the pegmatitic deposits; the geological occurrences of national quartz and feldspar; a selection of prospecting and research methods that can be applied to these deposits; the definition of extraction methods and processing technologies to be applied; the characterization of national and international quartz and feldspar productions and markets; the definition of areas and the corresponding geographical and geological settings, with the potential for the mining and production of these materials; the most appropriate analysis techniques, both chemical and mineralogical, when classifying pegmatitic deposits; an evaluation of the possible applications for the materials, rocky and non-rocky, associated with pegmatitic formations, from a full-mining perspective; an economic approach with regard to the paragenesis of the deposits at hand; and, finally, the definition of the possible industrial applications for the quartzes and feldspars here tested.

The geographical areas were selected based on the most common occurrence of pegmatitic quartz and feldspar, like the districts of Braga, Viseu, Guarda, Castelo Branco and Évora.

ÍNDICE

Índice	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Quadros	xviii
1. Introdução	3
2. Mineralogia do Quartzo e do Feldspato	9
2.1 Características mineralógicas do quartzo	9
2.2 Características mineralógicas do feldspato	15
2.3 Comportamento térmico e propriedades físicas dos feldspatos alcalinos (Na, K)	20
3. Ocorrências geológicas de quartzo e feldspato em Portugal	25
3.1 Ocorrências geológicas de quartzo	25
3.2 Ocorrências geológicas de feldspato	29
4. Prospeção e pesquisa	49
4.1 Métodos geofísicos	51
4.1.1 Sondagens eléctricas verticais	51
5. Extração e tecnologias de tratamento	61
5.1 Extração mineira	61
5.2 Tecnologia de tratamento	65
5.2.1 Quartzo	65
5.2.2 Feldspato	70
5.2.2.1 Separação magnética	75
5.2.2.2 Flutuação	84
6. Aplicações do quartzo e do feldspato	93
6.1 Aplicações do quartzo	93
6.1.1 Metalurgia	94
6.1.2 Indústria electrónica e óptica	98
6.1.3 Indústria Cerâmica	101
6.1.4 Indústria de abrasivos	102
6.1.5 Torres e tanques para ácido	104
6.1.6 Pré-aquecimento de ar	104
6.1.7 Filtros	105
6.1.8 Indústria de refractários	106
6.1.9 Outras aplicações	106
6.2 Aplicações do feldspato	109
6.2.1 Indústria do vidro	109
6.2.2 Indústria Cerâmica	111
6.2.2.1 Feldspatos para vidrados sanitários	118
6.2.3 Aplicação como carga	123
7. Produções e mercados	129
7.1 Produções e mercados do quartzo	129
7.2 Produções e mercados do feldspato	135
7.2.1 Factores que influenciam a procura	135
8. Quartzo e Feldspato em Portugal áreas amostradas e respectivo enquadramento geográfico e geológico	147
8.1 Áreas amostradas e respectivo enquadramento geográfico e geológico	147
8.2 Quartzos	148
8.2.1 Filão de Dornas	148
8.2.2 Pegmatito de Paredes (Lixa)	150
8.2.3 Quartzo de Mondim de Basto, Valdegas (Boticas), S. ^{ta} Maria de Émeres (Valpaços), Três Minas, Jou e Valongo dos Milhais (Murça)	152
8.2.3.1 Quinta da Corujeira (Mondim de Basto)	152
8.2.3.2 Valdegas (Boticas)	153
8.2.3.3 S. ^{ta} Maria de Emeres (Valpaços)	153
8.2.3.4 Três Minas	154
8.2.3.5 Ribeira de Joanes	156

8.2.3.6 Alto do Picoto (Valongo de Milhais) -----	157
8.2.4 Quartzo explorável a céu aberto em Monte Verde, S. Pedro das Águias, Várzea de Trevões, Ribeiro de Ribalonga, Castanheiro do Norte e Pombal -----	158
8.2.4.1 Monte Verde -----	158
8.2.4.2 S. Pedro das Águias -----	159
8.2.4.3 Junto e próximo à foz do ribeiro de Ribalonga -----	161
8.2.4.4 Castanheiro do Norte -----	162
8.2.4.5 Outros locais onde o filão ainda pode oferecer interesse -----	163
8.2.5 Quartzo de interesse económico nos concelhos de Mirandela e Alijó -----	164
8.2.5.1 Carreira do Seixo (Frechas, Mirandela) -----	164
8.2.5.2 Lamas de Orelhão e Serralhões (Mirandela) -----	165
8.2.5.3 Entre Favaíos e Sanfins do Douro -----	167
8.2.6 Depósito de Freches -----	168
8.2.7 Filão de Quartzo da Ladeira ou Seixo 2º (Moimenta da Beira) -----	171
8.2.8 Depósito de Vilar Formoso (Atalaia) -----	172
8.2.9 Depósitos de Aldeia Nova (Senhora da Assunção) e Poço Palheiro -----	174
8.2.10 Depósito de Vila Longa -----	188
8.2.11 Massas Pegmatíticas da Região ocidental da Serra da Vila Mendo e de entre Ribeira e Real (Mesquitela, Mangualde) -----	191
8.2.11.1 Depósito do Couto de Baixo -----	192
8.2.11.2 Depósito de Pedras Pintas -----	194
8.3 Sobre alguns quartzitos -----	197
8.3.1 Proximidades de Arco de Baulhe -----	197
8.3.2 Entre Vidago e Boticas -----	197
8.3.3 Parada (Serra do Marão) -----	198
8.3.4 Serras de Soalheiro, Santa Comba e Garraia -----	198
8.3.5 Castelo (Mirandela), Serra do Cubo, Serra do Faro (Vilas Boas) -----	198
8.4 Feldspatos -----	200
8.4.1 Depósito de Amarante (Lixa) -----	201
8.4.2 Depósito de Casal da Cinza -----	212
8.4.3 Depósito de Vale da Moura -----	216
8.4.4 Depósito do Cabeço da Argemela -----	217
9. Ensaios laboratoriais -----	233
9.1. Análise granulométrica -----	233
9.1.1 Preparação das amostras -----	234
9.1.1.1 Moagem -----	234
9.1.1.2 Quarteamento -----	236
9.1.1.3 Peneiramento a húmido (para o feldspato) -----	237
9.2 Análise química -----	238
9.2.1 Análise química por espectrofotometria de chama (determinação de Na e K) -----	238
9.2.2 Análise química por espectrometria de fluorescência de RX (FRX) -----	243
9.2.2.1 F.R.X. (propriamente dita) -----	245
9.2.3 Análise química de uma Matéria-prima -----	247
9.3 Análise mineralógica -----	248
9.3.1 Determinação da composição mineral através da difracção de raios x (DRX) -----	248
9.4 Análise petrográfica -----	251
9.4 Índice de Estabilidade Térmica (aplicável ao quartzo) -----	255
9.5 Ensaios para rocha ornamental -----	259
9.5.1. Determinação à Rotura por Impacto -----	259
9.5.2 Determinação da Resistência Mecânica à Flexão – DIN 52112 -----	260
9.5.3 Determinação da Resistência Mecânica à compressão Simples – DIN 52105 -----	262
9.5.4 Determinação da Resistência por Abrasão – DIN 52108 -----	263
9.5.5 Determinação da Absorção de água à Pressão Atmosférica – DIN 52103 -----	264
10. Avaliação económica dos pegmatitos -----	267
10.1 Considerações gerais -----	267
10.2 Avaliação económica dos pegmatitos -----	268
10.2.1 Génese dos pegmatitos e respectiva classificação -----	268
10.2.2 Distribuição e ocorrências -----	269

10.2.3 Relação com as rochas encaixantes -----	269
10.2.4 Tamanho e forma-----	270
10.2.5 Estruturas internas-----	270
10.2.6 Classificação-----	270
10.2.7 Composição química-----	270
10.2.8 Composição mineralógica -----	271
10.2.9 Modo de formação -----	271
10.2.10 Petrogênese e geoquímica -----	272
10.3 Geologia e pesquisa de pegmatitos -----	272
11. Resultados analíticos obtidos na amostragem e possíveis aplicações para os quartzos e feldspatos estudados -----	279
11.1 Resultados obtidos nos quartzos ensaiados-----	279
11.1.1 Possíveis aplicações para os quartzos em função dos resultados obtidos das amostras estudadas -----	281
11.2 Resultados obtidos nos feldspatos ensaiados-----	282
11.2.1 Possíveis aplicações para os feldspatos em função dos resultados obtidos das amostras estudadas -----	286
12. Possíveis aplicações para os materiais rochosos associados às formações pegmatíticas-----	291
12.1 Rocha Ornamental-----	291
12.1.1 Análise macroscópica dos materiais ensaiados -----	291
12.1.2 Uso final dos materiais ensaiados em função dos valores padrão para as diferentes aplicações -----	292
12.1.2.1 Propriedades relevantes para a aplicação final da rocha - ensaios de validação-----	292
12.1.2.2 Resultados obtidos nos ensaios para cada tipo de granito estudado -----	294
12.2 Produção de agregados -----	297
13. Análise em Componentes Principais (ACP)-----	303
13.1 Quartzos-----	306
13.1.1 Coordenadas dos indivíduos (Quartzo – S3 em suplementar)-----	321
13.1.2 Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3, S8, S7, S6 e S4 em suplementar) -----	325
13.1.3 Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 e MnO em suplementar)-----	326
13.2 Feldspatos-----	327
14. Conclusões-----	343
Bibliografia -----	351
Anexos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Diagrama de fases para SiO_2 (adaptado de Zoltai e Stout, 1986).....	9
Fig. 2 - Lâmina simples com estrutura da tridimite- β vista segundo o eixo dos zz (Deer, Howie, e Zussman, 1981).....	11
Fig. 3 - Estrutura da tridimite - β (Deer, Howie e Zussman, 1981).....	12
Fig. 4 - Projeções do quartzo segundo o eixo c (a) quartzo β (b) quartzo α (Chang, 2002).....	13
Fig. 5 - Solubilidade de SiO_2 em H_2O (adaptado de Chang, 2002).....	14
Fig. 6 - Soluções sólidas dos feldspatos (Velho, Gomes e Romariz, 1998).....	18
Fig. 7 - Relações sub-sólidas no sistema albite - ortoclase (Velho, Gomes e Romariz, 1998).....	18
Fig. 8 - Comparação das regiões de contracção, vitrificação, amolecimento, fusão e fluidez, observadas ao microscópio de calefacção, em feldspatos alcalinos provenientes de pegmatitos (Gomes, 1990).	21
Fig. 9- Posição dos campos pegmatíticos no sector Português da Província Pegmatítica Hercínica (Gomes e Nunes, 2003).	26
Fig. 10- a) Representação em planta de filões de quartzo hidrotermais ; b) perfis transversais de filões de quartzo hidrotermais (Gomes, 1990).....	28
Fig. 11- Aspectos (em perfil transversal) de alguns filões de quartzo hidrotermal do tipo brechoide (Ramos e Oliveira, 1980).....	28
Fig. 12 – Secção crustal do granito de Tregonning-Godolphin, Cornualha (adaptado de Hall, 1998).....	30
Fig. 13 – Representação geológica de um pegmatito granítico (adaptado de Hall, 1998).....	30
Fig. 14 – Secção do complexo migmático de Ben Klibreck no Loch Coire, Escócia (adaptado de Hall, 1998).....	31
Fig. 15 – Representação geológica do pegmatito Drum, na Carolina do Norte (adaptado de Hall, 1998) ...	31
Fig. 16- Evolução morfológica observada num único conjunto de bolsadas pegmatíticas intra-graníticas atribuíveis a um único sistema granítico residual (Gomes e Nunes, 2003).....	36
Fig. 17- Estruturação de um corredor de “mixing-mingling”, no seio de um complexo granítico ascensional. Generalização transversal obtida para o corredor de Azias (Ponte da Barca) (Gomes e Nunes, 2003).	37
Fig. 18- Adaptação dos modelos de implantação filoneana de Philips (1972, 1974) e de Briston (1986) à tipologia morfológica dos aplito-pegmatitos exograníticos da CCI. (Gomes e Nunes, 2003).....	40
Fig. 19- Características morfológicas de alguns depósitos pegmatíticos portugueses (Ramos e Oliveira, 1980).	42
Fig. 20 – Equipamento de Sondagem.....	50
Fig. 21- Esquema de implantação das sondagens eléctricas na Mata da Galinheira	55
Fig. 22- Esquema de implantação das sondagens eléctricas em Seixos Alvos.....	56
Fig. 23- Equipamento de perfuração.....	61
Fig. 24- Equipamentos de escavação, carga, e transporte de material extraído	62
Fig. 25- Escolha manual de quartzo (à esquerda) e escolha manual de quartzo (1ª e 2ª qualidades), feldspato potássico e sódico (à direita).....	63
Fig. 26- Quartzo de 1ª qualidade em pedra (à esquerda) e granulados de quartzo de 1ª qualidade (à direita).....	63
Fig. 27- Quartzo de 2ª qualidade para a produção de silício metal e ferro-silício.....	64
Fig. 28- Feldspato potássico de 1ª qualidade (à esquerda) e 2ª qualidade (à direita)	64

Fig. 29- Feldspato sódico de 1ª qualidade (à esquerda) e 2ª qualidade (à direita)	64
Fig. 30- Representação, em corte, de um dos tipos de britador utilizado em instalações de britagem de quartzo (Svedala, 1996).	65
Fig. 31- Representação de um dos tipos de crivo vibratório utilizado em instalações de britagem de quartzo (Svedala, 1996).	67
Fig. 32 - Representação de diagrama de operações na britagem de quartzo para fins metalúrgicos e outras aplicações.	68
Fig. 33- Lote de brita de quartzo para aplicação na construção civil	69
Fig. 34- Diagrama de operações para tratamento de materiais feldspáticos com origem em depósitos aplíticos.	72
Fig. 35- Redução de Fe_2O_3 com auxílio da separação megnética em areias de escombreira (dados em %) .	73
Fig. 36- Redução de Fe_2O_3 com auxílio da separação megnética em corpos rochosos (dados em %).....	74
Fig. 37- Mina de Vidago- escolha manual de feldspato K	74
Fig. 38- Separação magnética: a) com auxílio de força mecânica (gravidade); b) com auxílio de força centrífuga.....	76
Fig. 39- Tipos de perfil das massas polares.....	77
Fig. 40 - Classificação dos processos de separação magnética	79
Fig. 41- Funcionamento de um separador magnético de marca Permroll	80
Fig. 42- Aplicação da S.M.A.I. (Separação magnética de alta intensidade de campo) - via húmida.	83
Fig. 43- Representação esquemática de uma célula de flutuação (adaptado de Skillen, 1993).....	85
Fig. 44- Células de flutuação: Representação esquemática de uma célula Jameson; Secção de uma células EKOF (à direita) (adaptado de Skillen, 1993)	86
Fig. 45- Diagrama de tratamento tipo com operações de flutuação e separação magnética	87
Fig. 46- Diagrama de tratamento tipo com operações de fragmentação e classificação.	88
Fig. 47 – Metodologia de adequação entre os sectores extractivo e cerâmico	89
Fig. 48- Utilização de quartzo nas dimensões 3/6 mm.....	108
Fig. 49- Utilização de quartzo nas dimensões 8/16 mm.....	108
Fig. 50- Utilização de areia de quartzo na dimensão 2/4 mm.....	108
Fig. 51- Utilização de areia de quartzo na dimensão 2/4 mm.....	109
Fig. 52- Composição química de alguns feldspatos para a indústria de sanitários.....	117
Fig. 53- Comportamento cerâmico do feldspato sódico (adaptado de Mottet, 2000).....	119
Fig. 54 - Comportamento cerâmico do feldspato potássico (adaptado de Mottet, 2000)	119
Fig. 55- Formulação mineralógica do feldspato silicioso dos produtores de sanitários da Europa ocidental (adaptado de Mottet, 2000)	120
Fig. 56- Possibilidades de formulação de feldspatos utilizadas pela DAM (adaptado de Mottet, 2000).....	122
Fig. 57 – Relação Produção/Importação/Exportação de quartzo em Portugal.....	131
Fig. 58 – Relação Produção/Importação/Exportação em valor de quartzo em Portugal.....	132
Fig. 59 – Relação Produção/Importação/Exportação em quantidade de feldsapto em Portugal	137
Fig. 60 - Relação Produção/Importação/Exportação em valor de feldspato em Portugal	138
Fig. 61- Sectores nacionais consumidores de fundentes feldspáticos	139

Fig. 62– a- Mapa das áreas amostradas e b- concessões mineiras atribuídas (adaptado de Ramos e Oliveira, 1980 e IGM, 2000)	147
Fig. 63- Localização do depósito de Dornas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ponte da Barca, folha 5B).....	149
Fig. 64 - Depósito de Dornas: a- stock de quartzo já desmontado; b, c- frentes expostas da antiga exploração de quartzo	150
Fig. 65 - Pegmatito de Parede, na Lixa (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	151
Fig. 66 – Filões de Quartzo de Vila Nune (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)	152
Fig. 67 - Quartzo de Sta. Maria de Emeres (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	154
Fig. 68 – Filões de Quartzo de Três Minas (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)	155
Fig. 69 – Filão de Quartzo da Ribeira de Joanes (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	156
Fig. 70 – Quartzo do Picoto- Valongo de Milhais(Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	157
Fig. 71 – Filão de Quartzo de S. Pedro das Águias (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)	160
Fig. 72 – Quartzo de Castanheiro do Norte de Ribalonga (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	162
Fig. 73 – Filão de Quartzo entre Pombal e Pinhal do Norte (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)...	163
Fig. 74 – Filão de Quartzo de Frechas - Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.:1:25000)	164
Fig. 75- Filão de quartzo de Lamas de Orelhão: Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)...	165
Fig. 76- Filão de quartzo do Alto dos Serralhões: Pereira/Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000).....	166
Fig. 77 – Filão de Quartzo entre Favaio e Sanfins do Douro (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.:1/25000). 167	
Fig. 78- Vistas parciais do afloramento de quartzo de Freches.....	168
Fig. 79- Quartzo do depósito de Freches	169
Fig. 80 – Vista geral do depósito de Freches.....	169
Fig. 81- Localização do depósito de Freches (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Fornos de Algodres, folha 18A).....	170
Fig. 82 – Quartzo da Ladeira - Moimenta a Beira (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)	171
Fig. 83- Localização (esquemática) das sondagens no depósito de Vilar Formoso (sem escala) (Euroquartzo, 2000).....	173
Fig. 84- Enquadramento geográfico do depósito de Vilar Formoso (Esc.: 1/10000) (Euroquartzo, 2000) .	174
Fig. 85 - Localização da área do depósito da Sr. ^a da Assunção e Poço Palheiro(Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Aguiar da Beira, folha 14D).....	175
Fig. 86- Planta dos corpos norte e sul do depósito da Senhora da Assunção.....	177
Fig. 87 – Vista do corpo Norte do depósito da Sr. ^a da Assunção.....	178
Fig. 88- Vista do corpo Sul do depósito da Sr. ^a da Assunção	178
Fig. 89- Gigacristal de berilo visível numa frente de desmonte do corpo sul.....	179
Fig. 90- Mapa geológico da zona envolvente da Senhora da Assunção (Trabulo et al., 1995).....	180
Fig. 91- Carta de litologias e índices pegmatíticos (Silva, 2002)	181
Fig. 92- Mapa das estruturas frágeis da zona envolvente da Senhora da Assunção (Silva, 2002).....	182
Fig. 93- Mapa representativo das trajectórias das fluidalidades magmáticas e áreas com provável ocorrência de corpos pegmatíticos em profundidade, de acordo com os modelos de favorabilidade geológica (Silva, 2002).....	183

Fig. 94- Representação dos perfis A'-B', C'-D', E'-D', F'-G', H'-D' e I'-J' da cartografia dos granitos, traçados na figura 93, com as trajectórias das fluidalidades magmáticas (Silva, 2002)	184
Fig. 95- Secção esquemática de diferentes tipos de pegmatitos com base na textura e paragénesese segundo Vlasov (Cerny, 1982).	185
Fig. 96 – Localização das sondagens realizadas no corpo norte (sem escala) (Euroquartzo,2000)	187
Fig. 97 - Localização das sondagens realizadas no corpo sul (sem escala) (Euroquartzo, 2000)	187
Fig. 98- Localização do depósito de Vila Longa (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Aguiar da Beira, folha 14D)	189
Fig. 99 - Aspecto geral da exploração existente em Vila Longa	190
Fig. 100 - Pegmatitos da Serra de Vila Mendo e Real- Penalva do Castelo. (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)	191
Fig. 101 - Couto de Baixo: antiga exploração de caulinos	192
Fig. 102- Esquema do afloramento do depósito de Couto de Baixo (sem escala) (Euroquartzo, 2000)	193
Fig. 103 – Massa de quartzo do depósito de Pedras Pintas	194
Fig. 104- Massa de quartzo e feldspato potássico	195
Fig. 105 – Micas associadas à massa de quartzo	195
Fig. 106 – Filonete de quartzo	195
Fig. 107- Localização do depósito de Pedras Pintas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Mora, folha 35B)	196
Fig. 108- Mapa geológico sintético do aplito de Chãs de Tavares (Velho, Gomes e Romariz, 1998)	200
Fig. 109- Localização da área amostrada no Concelho de Celorico de Basto (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Celorico de Basto, folha 10-A)	202
Fig. 110- Carta de afloramentos e localização das amostragens superficiais (Esc.: 1/2000)	206
Fig. 111- Carta de afloramentos e localização das sondagens (Esc.: 1/2000)	209
Fig. 112- Localização da área amostrada no Distrito da Guarda (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Guarda, folha 18-C)	212
Fig. 113 – Vista do depósito de Casal de Cinza	214
Fig. 114- Representação esquemática do depósito de Casal de Cinza, em planta e perfil, com indicação das sondagens realizadas (sem escala) (Euroquartzo, 2000).	215
Fig. 115- Localização da área amostrada no Distrito da Guarda (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50000, Gouveia, folha 17-D)	216
Fig. 116- Vista do Cabeço da Argemela	217
Fig. 117 - Localização da área amostrada no Distrito de Castelo Branco (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:500 000)	218
Fig. 118- Cor das pastilhas da cozedura das amostras	220
Fig. 119- Aspecto duma pequena frente resultante de um desmonte experimental	221
Fig. 120 – Algumas evidências de caulinição	221
Fig. 121 – Planta e cortes do afloramento (Esc.: 1/2000)	225
Fig. 122 – “Logs” das sondagens (simplificados)	226
Fig. 123- Pastilhas da cozedura das amostras	228
Fig. 124 – Representação em planta do flanco de encosta projecto (Esc.: 1/1000)	229
Fig. 125 - Distribuição granulométrica de algumas amostras do Distrito da Guarda	233

Fig. 126 - Prensa hidráulica	235
Fig. 127 - Moinho de maxilas para pequenas quantidades.....	235
Fig. 128 - Moinho de ágata.....	236
Fig. 129 - Moinho de anéis de ágata.....	236
Fig. 130 - Esquema do quarteamento	237
Fig. 131 - Representação esquemática dos componentes básicos de um espectrofotómetro de chama (Vogel, 1975).....	238
Fig. 132 - Fotómetro de chama.....	239
Fig. 133 - Preparação dos padrões de Na	242
Fig. 134 - Representação esquemática dos componentes principais dum espectómetro de raios x (Gomes, 1979).....	243
Fig. 135 - Forno automático Perl'X3 (Phillips).....	244
Fig. 136 - Câmara de amostras.....	245
Fig. 137 - Discriminador.....	246
Fig. 138 - Esquema de um difractor de fonte linear (Gomes, 1979)	248
Fig. 139 - Representação esquemática do funcionamento do aparelho de difracção de raios X.(Phillips, 1981).....	249
Fig. 140 - Exemplo de difractograma obtido de duas amostras do Distrito da Guarda.....	250
Fig. 141 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo da Mata da Galinheira.....	251
Fig. 142 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Dornas.....	252
Fig. 143 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Ladeira	252
Fig. 144 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Boticas.....	252
Fig. 145 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Sr. ^a da Assunção.....	253
Fig. 146 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Freches.....	253
Fig. 147 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro.....	253
Fig. 148 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa.....	254
Fig. 149 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Seixos Alvos.....	254
Fig. 150 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas	254
Fig. 151 - Equipamento de ensaio da resistência ao choque	259
Fig. 152 - Equipamento de ensaio da resistência à flexão	260
Fig. 153 - Determinação da resistência mecânica à flexão	261
Fig. 154 - Equipamento de ensaio para determinação da resistência à compressão simples nas diferentes modalidades.....	262
Fig. 155 - Equipamento de ensaio da resistência à abrasão.....	263
Fig. 156 - Material usado no ensaio de absorção de água à pressão atmosférica	264
Fig. 157- A importância da Análise da Geologia Regional das Províncias e Distritos Pegmatíticos	269
Fig. 158 - Metodologia proposta para avaliação dos corpos pegmatíticos com base na respectiva evolução e classificação	274
Fig. 159 - Metodologia proposta para prospecção dos corpos pegmatíticos	275
Fig. 160- Agregados produzidos de materiais graníticos associados a um depósito pegmatítico	298

<i>Fig. 161- Proposta de diagrama de tratamento de materiais pegmatíticos com vista à produção das diferentes qualidades de quartzo, feldspato, berilo, e agregados para a construção civil o obras públicas.</i>	299
---	-----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Características químicas de quartzo de filão, de areia, de quartzito e de cherte, utilizado em cerâmica (Gomes, 1990).....	15
Quadro 2 - Composição teórica dos principais feldspatos (Velho, Gomes e Romariz, 1998)	19
Quadro 3 – Génese dos Feldspatos	46
Quadro 4 – Composição química média do quartzo de filão e pegmatito (dados em %)	70
Quadro 5- Composição química média do quartzo obtido por separação magnética (dados em %)	70
Quadro 6 - Consumo de quartzo para produção de uma tonelada de Si e FeSi	98
Quadro 7 - Consumo de matéria prima para produção de um quilograma de quartzo sintético e sílica vítrea	101
Quadro 8 – Percentagens de quartzo utilizadas nos diversos tipos de porcelana	101
Quadro 9- Comparação de fontes de alumina utilizadas nos vidros e nos cerâmicos (Burger, 1998)	110
Quadro 10- Teores de Fe_2O_3 para os diferentes tipos de vidro (%).....	110
Quadro 11- Incorporações (%) de feldspato na indústria do vidro	111
Quadro 12- Conteúdo de feldspato nalguns produtos cerâmicos (%) (Velho, Gomes e Romariz, 1998)	113
Quadro 13 – Valores percentuais indicativos dos fundentes feldspáticos a utilizar nos diferentes sectores da indústria cerâmica	123
Quadro 14- Especificações dos feldspatos para aplicação na indústria como carga.....	124
Quadro 15 – Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector das tintas	125
Quadro 16 - Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector das borrachas e ligantes.....	125
Quadro 17 - Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector dos plásticos	126
Quadro 18- Características mais importantes dos feldspatos para aplicação em diversos mercados	126
Quadro 19 – Tipos de quartzo estabelecidos função das especificações químicas (Pereira, 1981)	129
Quadro 20- Produção de quartzo entre 1970 e 2002 (Bol. de Minas 1970-2002).....	131
Quadro 21- Lotes granulométricos de quartzo em aplicações não tradicionais.....	133
Quadro 22- Principais produtores de Fe-Si e Si (Harben, 1995)	133
Quadro 23 - Produções de quartzo por país (United States Geological Survey Mineral Resources Program)- (10^3 t)	134
Quadro 24 – Produções de feldspato por país (United States Geological Survey Mineral Resources Program)- (10^3 t)	136
Quadro 25 – Produção de feldspato entre 1985 e 2002 (Bol. de Minas 1985-2002).....	137
Quadro 26 – Caracterização do sector da porcelana	140
Quadro 27 – Caracterização do sector dos sanitários.....	140
Quadro 28 – Caracterização do sector da faiança e do grés cerâmico	141
Quadro 29 – Caracterização do sector do grés porcelânico	141
Quadro 30 – Caracterização do sector do pavimento.....	142
Quadro 31 - Caracterização do sector dos cloríficos	142
Quadro 32 – Caracterização do sector do vidro.....	143

<i>Quadro 33 - Composições químicas médias dos fundentes feldspáticos utilizados nas pastas dos diversos sectores (dados em %)</i>	<i>143</i>
<i>Quadro 34 – Características químicas de alguns feldspatos importados</i>	<i>144</i>
<i>Quadro 35 – Afloramentos de quartzo e algumas das respectivas características químicas (dados em %) (Neiva, 1976)</i>	<i>199</i>
<i>Quadro 36- Amostragem superficial preliminar do afloramento do Outeiro (cálculo modal aproximado) .</i>	<i>204</i>
<i>Quadro 37 – Amostragem superficial preliminar do afloramento do Outeiro (análise química)</i>	<i>205</i>
<i>Quadro 38 - Amostragem superficial do afloramento do Outeiro (cálculo modal aproximado em %</i>	<i>207</i>
<i>Quadro 39- Amostragem superficial do afloramento do Outeiro (análise química).....</i>	<i>207</i>
<i>Quadro 40- Resultados das sondagens do Outeiro (cálculo modal aproximado)- dados em %.....</i>	<i>210</i>
<i>Quadro 41- Resultados das sondagens do Outeiro (análise química)</i>	<i>210</i>
<i>Quadro 42- Cabeço da Argemela: Resultados da Amostragem Superficial - Análise química (%).....</i>	<i>219</i>
<i>Quadro 43 - Cabeço da Argemela: Resultados da Amostragem Superficial - Cálculo modal aproximado (%)</i>	<i>219</i>
<i>Quadro 44 – Composição mineralógica média do material do Cabeço da Argemela.....</i>	<i>222</i>
<i>Quadro 45- Cabeço da Argemela: resultados das sondagens (Cruz, 2001) - análise química (%).....</i>	<i>227</i>
<i>Quadro 46 - Cabeço da Argemela: resultados das sondagens (Cruz, 2001) – cálculo modal aproximado (%)</i>	<i>227</i>
<i>Quadro 47 – Percentagens de passados.....</i>	<i>234</i>
<i>Quadro 48 – Leituras da solução padrão</i>	<i>241</i>
<i>Quadro 49- Classificação da estabilidade química função dos valores de IEQ.....</i>	<i>256</i>
<i>Quadro 50- Percentagens de material passado e os valores do IEQ.....</i>	<i>256</i>
<i>Quadro 51- Avaliação económica dos pegmatitos em países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento</i>	<i>268</i>
<i>Quadro 52- Resultados das amostras de Dornas (dados em %).....</i>	<i>279</i>
<i>Quadro 53- Resultados das amostras de Vila Longa (dados em %)</i>	<i>280</i>
<i>Quadro 54 - Resultados das amostras da Sr.^a da Assunção (dados em %)</i>	<i>280</i>
<i>Quadro 55 – Resultatdos analíticos das amostras de Poço Palheiro (dados em %).....</i>	<i>280</i>
<i>Quadro 56– Resultatdos analíticos das amostras de Freches (dados em %).....</i>	<i>281</i>
<i>Quadro 57– Resultatdos analíticos das amostras de Pedras Pintas (dados em %)</i>	<i>281</i>
<i>Quadro 58- Resultados das amostras de Vilar Formoso (dados em %)</i>	<i>282</i>
<i>Quadro 59 - Resultados das amostras de Amarante (dados em %)</i>	<i>283</i>
<i>Quadro 60 - Resultados das amostras de Vila Longa (dados em %)</i>	<i>283</i>
<i>Quadro 61 - Resultados das amostras de Sr.^a da Assunção (dados em %)</i>	<i>284</i>
<i>Quadro 62 - Resultados das amostras de Vale da Moura (dados em %).....</i>	<i>284</i>
<i>Quadro 63 - Resultados das amostras de Casal de Cinza (dados em %).....</i>	<i>285</i>
<i>Quadro 64 - Resultados das amostras do Fundão (dados em %)</i>	<i>285</i>
<i>Quadro 65 – Importância das várias propriedades de acordo com as aplicações mais comuns.....</i>	<i>293</i>
<i>Quadro 66 - Resultados obtidos para o microgranito do Fundão</i>	<i>295</i>
<i>Quadro 67 - Possíveis aplicações para o microgranito do Fundão.....</i>	<i>295</i>

Quadro 68 – Resultados obtidos para o granito da Sr. ^a da Assunção – fácies “amarela”	295
Quadro 69 - Possíveis aplicações para o granito da Sr. ^a da Assunção – fácies amarela	296
Quadro 70 - Resultados obtidos para o granito da Sr. ^a da Assunção – fácies “cinzenta”	296
Quadro 71 - Possíveis aplicações para o granito da Sr. ^a da Assunção - fácies cinzento.....	297
Quadro 72 - Depósitos de quartzo amostrados e respectivas designações.....	306
Quadro 73 - Dados originais relativos às amostras de quartzo ensaiadas.....	306
Quadro 74 - Estatísticos básicos- quartzo (44 amostras)	307
Quadro 75- Estatísticos básicos – feldspato: SiO ₂ (por grupos de amostras e por elemento químico)	308
Quadro 76- Estatísticos básicos – feldspato: Al ₂ O ₃ (por grupos de amostras e por elemento químico)	309
Quadro 77- Estatísticos básicos – feldspato: Fe ₂ O ₃ (por grupos de amostras e por elemento químico).....	309
Quadro 78- Estatísticos básicos – feldspato: CaO (por grupos de amostras e por elemento químico).....	310
Quadro 79- Estatísticos básicos – feldspato: K ₂ O (por grupos de amostras e por elemento químico).....	310
Quadro 80 - Estatísticos básicos – feldspato: Na ₂ O (por grupos de amostras e por elemento químico).....	311
Quadro 81 - Estatísticos básicos – feldspato: TiO ₂ (por grupos de amostras e por elemento químico).....	312
Quadro 82 - Estatísticos básicos – feldspato: MgO (por grupos de amostras e por elemento químico)	312
Quadro 83 - Estatísticos básicos – feldspato: MnO (por grupos de amostras e por elemento químico)	313
Quadro 84 - Estatísticos básicos – feldspato: P ₂ O ₅ (por grupos de amostras e por elemento químico)	313
Quadro 85 - Estatísticos básicos – feldspato: P.R. (por grupos de amostras e por elemento químico)	314
Quadro 86 - Matriz de Correlações - Spearman (trian. sup.) / Pearson (trian.inf.)	317
Quadro 87 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – dados completos)	317
Quadro 88 - Coordenadas das variáveis (Quartzo – dados completos).....	318
Quadro 89 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 em suplementar).....	321
Quadro 90 - Coordenadas das variáveis (Quartzo – S3 em suplementar).....	322
Quadro 91 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 e MnO em suplementar).....	326
Quadro 92 – Coordenadas das variáveis (Quartzo – S3 e MnO em suplementar)	326
Quadro 93- Depósitos de feldspato amostrados e respectivas designações.....	327
Quadro 94- Dados originais – Feldspato.....	328
Quadro 95- Estatísticos básicos – Feldspato (88 amostras).....	330
Quadro 96 - Estatísticos básicos – feldspato: SiO ₂ (por grupos de amostras e por elemento químico)	331
Quadro 97- Estatísticos básicos – feldspato: Al ₂ O ₃ (por grupos de amostras e por elemento químico)	331
Quadro 98- Estatísticos básicos – feldspato: Fe ₂ O ₃ (por grupos de amostras e por elemento químico).....	332
Quadro 99 Estatísticos básicos – feldspato:CaO (por grupos de amostras e por elemento químico)	333
Quadro 100 - Estatísticos básicos – feldspato: K ₂ O (por grupos de amostras e por elemento químico).....	333
Quadro 101 - Estatísticos básicos – feldspato: Na ₂ O (por grupos de amostras e por elemento químico)....	334
Quadro 102 - Estatísticos básicos – feldspato: Na ₂ O (por grupos de amostras e por elemento químico)....	334
Quadro 103 - Estatísticos básicos – feldspato: MgO (por grupos de amostras e por elemento químico)	335
Quadro 104- Matriz de Correlações - Spearman (trian. sup.) / Pearson (trian.inf.)	336
Quadro 105 - Análise em Componentes Principais (Feldspato - dados completos)	337

<i>Quadro 106 - Coordenadas das variáveis (Feldspato - dados completos)</i>	<i>337</i>
---	------------

“O sábio não é o homem que fornece as verdadeiras respostas, é aquele que faz as verdadeiras perguntas”

Claude Lévi-Strauss

1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A problemática do aproveitamento dos depósitos pegmatíticos subsiste, por um lado porque genericamente são depósitos de pequena dimensão e bastante irregulares, o que actualmente é quase sinónimo de inviabilidade económica.

Por outro lado, tratando-se de depósitos onde o quartzo e o feldspato ocorrem em associação, apenas o quartzo era comercializado em grande escala, enquanto que, em muitas situações, o feldspato era considerado como um subproduto.

O aproveitamento de feldspatos realizou-se, tradicionalmente, neste tipo de depósitos, nos quais anteriormente também foi extraído o quartzo, tendo este último sofrido uma drástica redução, consequência do encerramento das unidades metalúrgicas nacionais, na segunda metade dos anos oitenta.

Verificou-se, também, que muitas das unidades extractivas denotavam alguma falta de profissionalismo técnico, fazendo com que, para além de apenas se fazer extracção sobre reservas aflorantes, a mesma fosse ambiciosa.

Esta atitude dos empresários levou a que, mesmo nas áreas limítrofes às zonas em exploração, ou já exploradas, pela falta de trabalhos de pesquisa que muito contribuiriam para uma boa compreensão desses depósitos, não se evidenciassem novas reservas.

O facto de muitas destas matérias-primas surgirem no mercado sem qualquer tratamento ou beneficiação, contribuiu para as diferenças de consumo e valoração registadas entre os produtos nacionais e importados.

Considera-se fundamental que o tratamento ou beneficiação necessários sejam acompanhados simultaneamente pela implementação de um controlo de qualidade, pois a razão fundamental que conduz à procura de produtos importados, consiste no facto de alguns produtores nacionais não garantirem, ao longo do tempo, as características dos seus materiais.

Em virtude de se verificar uma reanimação do mercado do quartzo para exportação e, simultaneamente, se confirmar a existência de um mercado sustentado e com

perspectivas de futuro crescimento relativamente ao feldspato, a conjugação destes factores poderá constituir uma solução para a rentabilização dos depósitos pegmatíticos.

Neste contexto, julgou-se oportuno avaliar este tipo de depósitos, tendo em vista a possibilidade do aproveitamento simultâneo destas duas matérias-primas de capital importância para a economia nacional, assim como a utilização dos subprodutos (agregados para o sector da construção civil ou outros sectores), que constituirão uma potencial alternativa à crescente importação de fundentes feldspáticos.

Este estudo teve como principal objectivo caracterizar e avaliar os quartzos e feldspatos quanto à sua aplicação nas diferentes indústrias, nomeadamente a metalurgia e os diversos sectores da indústria cerâmica, do vidro e como carga na indústria química.

Essa caracterização e avaliação foram realizadas com o intuito de verificar a possibilidade de substituição de alguns produtos importados por matérias-primas nacionais, de acordo com as características dos depósitos e a possibilidade de beneficiação, como forma de garantir um determinado padrão de qualidade.

Com este estudo pretendeu-se, e também no intuito de encontrar soluções relativamente a algumas das questões já apontadas, contribuir para um melhor conhecimento da génese e caracterização dos depósitos pegmatíticos, designadamente um elevado aproveitamento e valorização da generalidade dos materiais deles extraídos, tendo sempre em vista as respectivas aplicações industriais.

Assim, e com base no conhecimento prévio deste tipo de depósitos e tradicionais métodos de exploração e aplicações, definiram-se os objectivos a atingir neste estudo:

- Caracterização mineralógica e geológica dos depósitos pegmatíticos;
- Ocorrências geológicas de quartzo e feldspato em Portugal;
- Selecção dos métodos de prospecção e pesquisa susceptíveis de aplicação nos depósitos pegmatíticos;
- Definição de métodos de extracção e tecnologias de tratamento a aplicar aos diferentes tipos de depósitos pegmatíticos;
- Caracterização das produções e mercados do quartzo e feldspatos, nacionais e estrangeiros;

- Definição de áreas, e respectivos enquadramentos geográfico e geológico, com potencial para a exploração e produção de quartzo e feldspato;
- Selecção de técnicas de análise, química e mineralógica, adequadas à caracterização dos materiais pegmatíticos;
- Avaliar as possíveis aplicações dos materiais, rochosos ou não rochosos, associados às formações pegmatíticas numa óptica de exploração integral;
- Realizar uma abordagem económica função da paragénese dos depósitos em estudo;
- Definir possíveis aplicações industriais para os quartzos e feldspatos ensaiados neste estudo.

Acresce, ainda, o facto da exploração deste tipo de depósitos minerais apresentar grandes limitações relativamente à viabilidade económica das unidades produtoras, quer em funcionamento ou a instalar, pelo que se impõe a exploração integrada e tratamento de todos os produtos susceptíveis de comercialização.

Assim, torna-se imperativo obter rendimentos ponderais elevados nas instalações de tratamento e, sempre que possível, otimizar a operação de desmonte tendo em vista um cuidadoso desmonte selectivo, que em muito contribuirá para a viabilidade económica das unidades de tratamento dos produtos pegmatíticos.

Relativamente a Portugal, tem-se verificado uma crescente necessidade em fundentes feldspáticos, uma vez que estas matérias-primas são essenciais nos diversos sectores da indústria cerâmica.

Paralelamente a um aumento sustentado da produção nacional dos materiais feldspáticos, também se registou um razoável acréscimo da importação desta matéria-prima, na 2ª metade da década de 80 e 1ª metade da década de 90, segundo os dados oficiais.

Por outro lado, registou-se uma significativa diminuição das exportações, que neste momento quase não representam qualquer significado.

Contudo, e apesar dos produtos importados apresentarem preços/tonelada bastante superiores aos produtos nacionais, continua a verificar-se uma tendência para o aumento desse desfasamento.

Tudo leva a crer que os diferenciais acima referidos resultem do desenvolvimento tecnológico verificado na indústria cerâmica de transformação, desenvolvimento esse que actualmente não permite grandes variações nas matérias-primas processadas.

Dado que estas matérias-primas são naturais, e a respectiva qualidade é função dos corpos geológicos responsáveis pela sua génese, elas apresentam variações significativas, pelo que se impõem processos de beneficiação e tratamento de forma a garantir a constância de características físicas, químicas e tecnológicas que satisfaçam a tecnologia actualmente utilizada.

É extremamente importante que as matérias-primas mantenham as características e que as suas variações, a existirem, se mantenham em intervalos muito estreitos.

Em termos estratégicos, a opção dos empresários recaiu sobre os padrões de qualidade dos produtos, principalmente com o intuito de os mesmos poderem vir a ser objecto de certificação.

Na realidade os produtos cerâmicos nacionais evoluíram substancialmente em termos de qualidade, mas essa evolução tem obrigatoriamente de os posicionar no mesmo nível dos produtos importados pois, caso isso não aconteça, muito dificilmente poderão satisfazer as actuais exigências do mercado.

Uma vez que as matérias-primas nacionais e estrangeiras, no estado natural, não apresentam diferenças significativas, apenas a falta de beneficiação apropriada poderá explicar os desvios de qualidade que os produtos nacionais exibem ao longo do tempo, em especial pelo facto de a maioria delas ser fornecido tal qual.

Actualmente, o sector que mais consome fundentes feldspáticos é o do pavimento, ao qual se seguem os sectores do grés porcelânico, do sanitário, da porcelana, da faiança feldspática /grés cerâmico, dos coloríficos e por último o do vidro.

2

***MINERALOGIA DO QUARTZO E DO
FELDSPATO***

2. MINERALOGIA DO QUARTZO E DO FELDSPATO

2.1 Características mineralógicas do quartzo

A sílica é um composto que integra dois dos elementos mais abundantes, o silício e o oxigénio. Na forma de quartzo, é um mineral essencial na maioria das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, e um mineral acessório e secundário em filões e jazigos metassomáticos. Devido à respectiva resistência aos agentes atmosféricos, ele surge concentrado na sedimentação para formar areia e seixo.

Juntamente com o quartzo, quatro minerais de sílica, (1) tridimite, (2) cristobalite, (3) coesite, e (4) stishovite estão bem associados (fig.1).

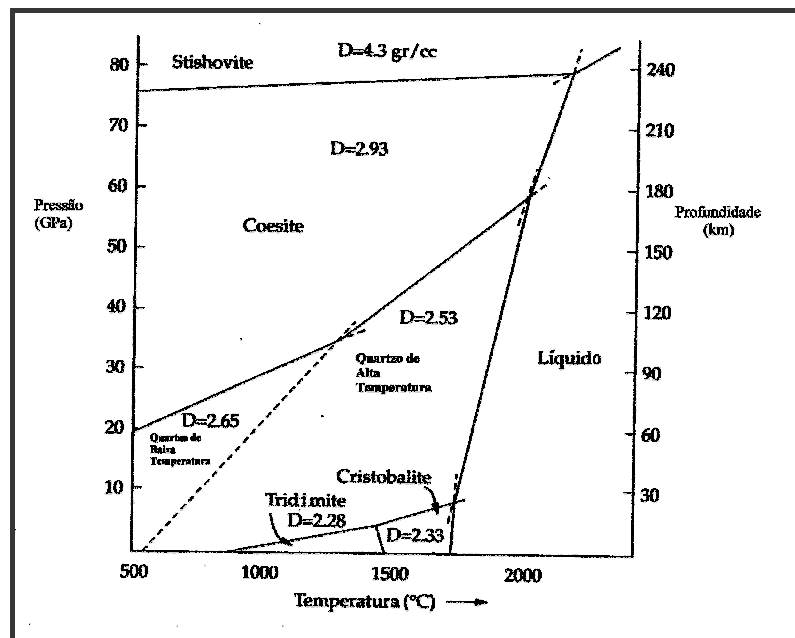


Fig. 1 - Diagrama de fases para SiO_2 (adaptado de Zoltai e Stout, 1986)

Outros minerais e agregados minerais, constituídos predominantemente por sílica, são o cherte, a calcedónia, trípoli, novaculite, opala e diatomito.

A maior aplicação industrial da sílica é no fabrico de vidro, na indústria cerâmica e na electrometalurgia, para além de aplicações como areia de fundição, nos abrasivos, na construção civil e nas cargas industriais. Cristais de quartzo natural e de cultura aplicam-se na indústria óptica e dispositivos osciladores. É ainda utilizada como matéria-prima para a produção de um vasto grupo de sílicas, nomeadamente sílica gel, sílica pirogénica e sílica precipitada.

A sílica é polimórfica e as relações de estabilidade dos minerais do grupo da sílica estão representadas na figura anterior.

Conforme referem Deer, Howie e Zussman (1981), “os polimorfos de SiO_2 mais importantes e os seus intervalos de estabilidade de temperatura são os seguintes:

Quartzo - α : estável à temperatura atmosférica e até 573°C.

Quartzo - β : estável de 573°C até 870°C. Pode existir metastavelmente acima de 870°C.

Tridimite - α : pode existir à temperatura atmosférica e até 117°C, mas não é a forma estável neste intervalo.

Tridimite - β_1 : pode existir entre 117°C e 163°C, mas não é a forma estável neste intervalo.

Tridimite - β_2 : pode existir acima de 163°C e é a forma estável desde 870°C a 1470°C; acima de 1470°C pode existir mas é instável; funde a 1670°C.

Cristobalite - α : pode existir à temperatura atmosférica e até 200 - 275°C, mas não é a forma estável neste intervalo.

Cristobalite - β : pode existir acima de 200°C-275°C e é estável desde 1470°C até ao ponto de fusão, 1713°C.

Coesite: fase de elevada pressão produzida a 450°C - 800°C e à pressão de 38000 atmosferas. Encontrada em rochas sujeitas ao impacto de grandes meteoritos.

Keatite: fase sintética de alta pressão, ainda não encontrada na Natureza, produzida a 380°C - 585°C e à pressão de 330 - 1.200 atmosferas. O intervalo de estabilidade é desconhecido.

Stishovite: forma de sílica de elevada densidade, d 4,3, sintetizada a 130000 atmosferas e >1200°C; reconhecida na Cratera «Meteor», Arizona.

Vidro de sílica (sílica vítrea; lechatelierite); pode existir à temperatura ambiente e até 1000°C, altura em que a sua velocidade de cristalização aumenta rapidamente. É um vidro instável a qualquer temperatura inferior a 1713°C.

Sílica Criptocristalina (calcedónia): variedades compactas que contêm pequeninos cristais de quartzo com poros submicroscópicos”.

A nomenclatura utilizada é α para a fase de temperatura mais baixa e β para a temperatura mais elevada.

Exceptuando a stishovite, todas as fases da sílica apresentam como unidade estrutural fundamental o tetraedro SiO_4 . Cada tetraedro está ligado aos outros quatro tetraedros pela partilha de átomos apicais de oxigénio, para formar uma rede tridimensional de SiO_4 . Várias formas polimorfas resultam de diferentes ligações dos tetraedros (Haney, 1994; Hemley et al., 1994). A stishovite apresenta uma estrutura do tipo do rútilo com o Si^{4+} num sistema octaédrico.

A estrutura da coesite é composta por 4 anéis de SiO_4 , ligados em nós, para formar cadeias paralelas ao eixo c .

A estrutura da tridimite baseia-se num modelo empilhado, no qual lâminas de tetraedros de SiO_4 com arranjo em anéis hexagonais, alternadamente, apontam para cima e para baixo, como se pode observar na figura 2.

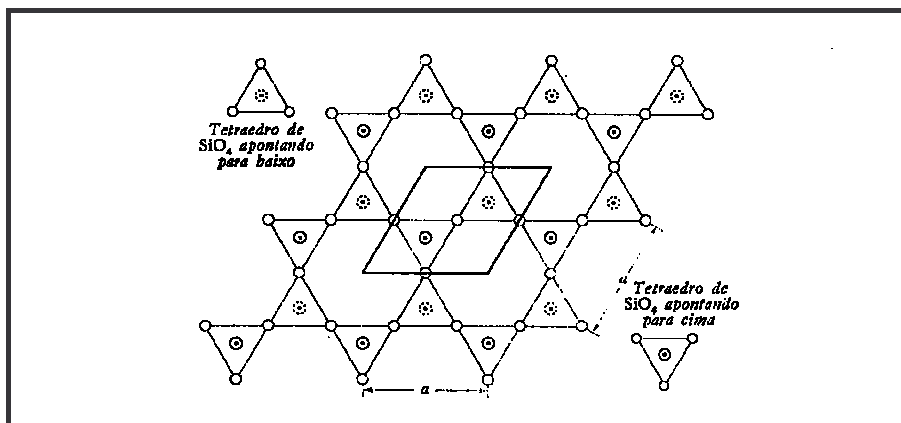


Fig. 2 - Lâmina simples com estrutura da tridimite- β vista segundo o eixo dos zz (Deer, Howie, e Zussman, 1981)

Como se pode observar na figura 3, os vértices apontam alternadamente em direcções opostas. As sucessivas lâminas paralelas de tetraedros compartilham os oxigénios apicais e estão relacionadas por planos de reflexão que passam por elas, de tal modo que os silícios e os oxigénios basais de um tetraedro que aponta para baixo numa lâmina estão directamente por cima do tetraedro que aponta para cima, na lâmina que está por baixo.

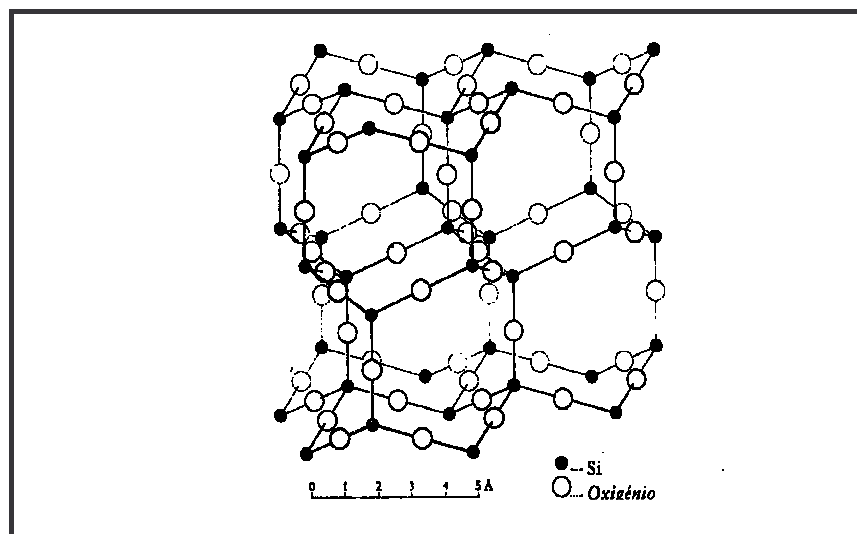


Fig. 3 - Estrutura da tridimite - β (Deer, Howie e Zussman, 1981)

A cristobalite β apresenta uma estrutura análoga à da tridimite β , pois tem por base lâminas semelhantes de anéis com seis componentes de tetraedros de SiO_4 . Os tetraedros também estão unidos nas sucessivas lâminas por ligações Si-O-Si, mas os oxigénios basais de um tetraedro já não se apresentam directamente sobrepostos, mas antes rodados de 60° relativamente aos do tetraedro que está por debaixo dele.

As impurezas existentes em amostras naturais podem ser responsáveis pelas variações nas dimensões da malha unitária da cristobalite. Segundo Deer, Howie e Zussman (1981), devido às estruturas muito abertas (conservando-se neste estado por agitação térmica e temperatura elevada) que a cristobalite e a tridimite exibem, ocorre a acomodação de iões estranhos.

Ainda segundo aqueles autores, as transformações das formas α para β de cada um dos três minerais de SiO_2 resulta apenas de pequenos movimentos atômicos (transformações de deslocação), enquanto as mudanças entre o quartzo, tridimite e cristobalite são mais disruptivas (transformações reconstrutivas).

As modificações do quartzo para uma forma de temperatura mais elevada deve envolver o rompimento das ligações Si-O e a migração de ambos os átomos de Si e O em várias direcções, tal como acontece com a modificação da tridimite para cristobalite, que envolve o rompimento das ligações e a modificação da disposição dos vizinhos mais próximos.

No quartzo de alta temperatura, os distintos arranjos estruturais consistem em cadeias helicoidais dos tetraedros SiO_4 , ao longo do eixo c (fig 4a).

A estrutura do quartzo de baixa temperatura pode descrever-se como o colapso estrutural do quartzo β , com uma de simetria da hexagonal para a romboédrica (fig 4b). O enrolamento da hélice pode dar-se à esquerda ou à direita, em resultado da morfologia dos cristais de quartzo (Donnay e La Page, 1978).

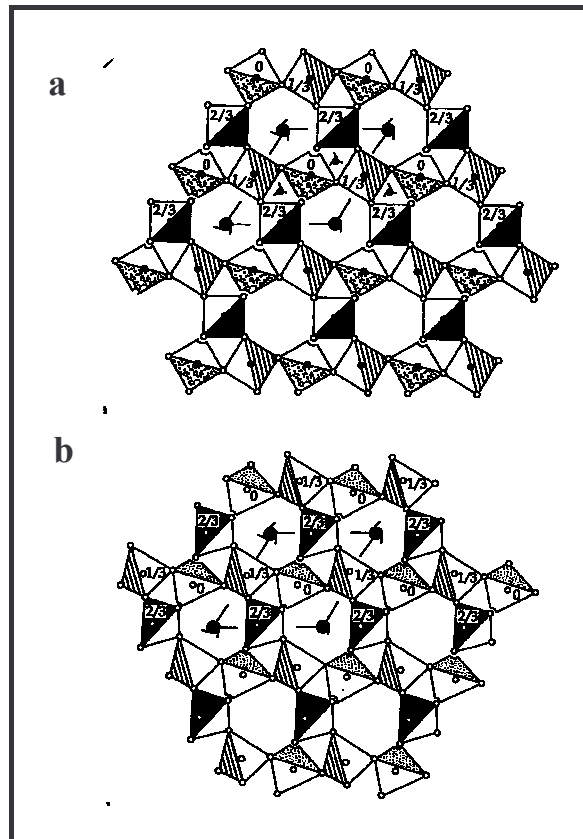


Fig. 4 - Projecções do quartzo segundo o eixo c (a) quartzo β (b) quartzo α (Chang, 2002)

Existe polaridade ao longo do eixo a , o que constitui uma particularidade positiva na característica piezoelétrica do quartzo de baixa temperatura, conferindo-lhe a possibilidade de aplicação como oscilador. O quartzo exibe baixa condutividade térmica e alta expansão térmica, características que lhe conferem baixa resistência ao choque térmico (Newnham, 1975).

O quartzo é, essencialmente, SiO_2 puro, quase sem impurezas. A substituição dos iões Al^{3+} por Si^{4+} , muito limitada em termos de concentração, parece ser acompanhada pela introdução dos iões alcalinos Li^{1+} ou Na^{1+} . A tridimite e a cristobalite exibem

estruturas mais abertas do que o quartzo e contêm quantidades apreciáveis de álcalis, equilibradas pela substituição Si^{4+} por Al^{3+} (Deer, et al., 1992).

Todas as formas polimórficas de SiO_2 , à exceção da coesite e da stishovite, são dissolvidas em HF (Deer, et al., 1992), e o quartzo apresenta solubilidade, em H_2O , calculada em 6 ppm à temperatura ambiente (Morey, et al., 1962), que cresce de forma notória à medida que aumentam a temperatura e a pressão, assim como com a adição de soluções de NaOH ou NaCl (Anderson e Burnham, 1965).

A figura 5 (Kennedy, 1950) representa as diferentes regiões de solubilidade. As inclusões fluidas são comuns no quartzo e resultam principalmente de soluções salinas, CO_2 e CH_4 , apresentando-se com variadas dimensões, que podem variar entre 1 μm e alguns milímetros.

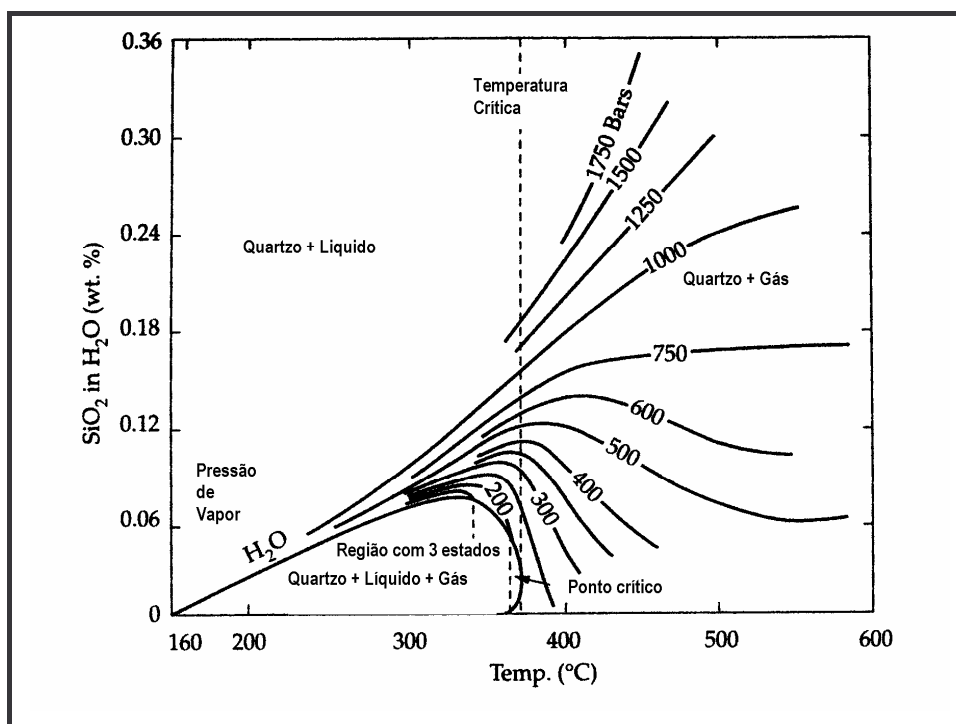


Fig. 5 - Solubilidade de SiO_2 em H_2O (adaptado de Chang, 2002)

O quartzo quando proveniente de depósitos arenosos apresenta os cristais com forma irregular e angulosa, ocorrendo quer em cristais isolados quer formando agregados. Os cristais são geralmente transparentes ou hialinos, brancos ou branco leitoso. Contudo, podem ocorrer com algumas colorações como o amarelo (citrino), o cinzento (quartzo fumado), o rosa (quartzo róseo) e o violeta (quartzo ametista). Na maioria dos casos a causa da coloração são as inclusões de ferro, manganês e titânio,

quer no estado cristalino ou coloidal, que conferem ao quartzo cor amarela, rosa violácea, cinzenta ou preta.

A transparência (importante na porcelana), o poder fundente e a velocidade de dissolução na cozedura (importante nas misturas cerâmicas) são propriedades relevantes e são função das diferentes origens do quartzo que podem ser: pegmatito, veio ou filão, areia fluvial, areia marinha, areia eólica, resíduo arenoso da lavagem do granito, quartzito, cherte, sílex e lidíto.

Para o quartzo utilizado em cerâmica, proveniente de filão e de areia, de quartzito e cherte, apontam-se no quadro 1 as respectivas características químicas.

Quadro 1- Características químicas de quartzo de filão, de areia, de quartzito e de cherte, utilizado em cerâmica (Gomes, 1990).

	FILÃO	AREIA	QUARTZITO	CHERTE
SiO ₂ (%)	99.70	99.15	96.71	98.91
TiO ₂ (%)	traços	0.07	n.d.	0.005
Al ₂ O ₃ (%)	0.10	0.20	1.71	0.14
Fe ₂ O ₃ (%)	0.01	0.10	0.17	0.14
MgO (%)	0.01	0.02	0.05	0.02
CaO (%)	0.03	0.08	traços	0.04
Na ₂ O (%)	0.01	0.15	0.34	traços
K ₂ O (%)	0.01	0.10	-----	traços
P.R. (%)	0.16	0.12	n.d.	0.45
Total	100.03	99.99	98.98	99.705

2.2 Características mineralógicas do feldspato

O feldspato é um dos minerais mais comuns na crosta terrestre (cerca de 60%), com dureza 6 na escala de Mohs, apresenta-se normalmente branco ou de cor bastante clara, pode também exibir outras cores, nomeadamente a cinzenta, rosa ou verde, com brilho vítreo a nacarado nas faces de clivagem, característica esta que apresenta duas direcções ortogonais, ou quase ortogonais.

Feldspato é também o termo utilizado para representar o grupo de minerais com fórmula química geral $(\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_8)$, na qual (pode ser sódio (Na) e/ou cálcio (Ca) e/ou potássio (K).

Quimicamente, são aluminossilicatos de sódio, potássio, cálcio, e mais raramente de bário, cuja densidade varia entre 2,54 e 2,76. Embora ocorram numa grande parte das rochas da crosta terrestre, a respectiva aplicação industrial está de algum modo limitada devido à difícil separação dos minerais associados, uma vez que apresenta, no geral, grão fino a médio.

Os feldspatos ocorrem nas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, relacionando-se com o caulino, que é o principal mineral argiloso a ser usado na cerâmica e faiança, e são os constituintes mais importantes dos pegmatitos simples, contudo também são comuns em filões.

Na grande maioria das rochas ígneas, quer ácidas quer alcalinas, intermédias ou básicas, os feldspatos são os principais constituintes, e apenas em algumas rochas ultrabásicas e em raras rochas alcalinas, estão ausentes.

São, igualmente, os constituintes principais nos gnaisses e xistos, ocorrendo também em muitas rochas de metamorfismo térmico e regional. Apenas nas rochas argilosas e nas rochas carbonatadas, os feldspatos se revelam de menor importância.

A produção inicial de feldspatos fazia-se em corpos pegmatíticos, corpos estes de rochas de composição essencialmente granítica, formados principalmente por grandes cristais ou massas de quartzo, feldspato e mica. Os pegmatitos cristalizam durante o último estágio de injeção do magma granítico.

Os pegmatitos apresentam dimensões que vão desde uma fina camada, de alguns centímetros de espessura, a largos corpos tabulares com dezenas de metros de espessura e centenas de metros de extensão.

Muito embora possam sofrer alteração e meteorização, surgem em segundo lugar, logo a seguir ao quartzo, quanto à abundância nos sedimentos arenosos, ocorrendo na forma de grãos detríticos ou de cristais autigénicos. Apenas apresentam menor importância nas rochas argilosas e carbonatadas.

Para uma compreensão das relações entre os feldspatos é necessário caracterizá-los não apenas quanto à composição química, mas também quanto ao estado estrutural, o qual depende da temperatura de cristalização e da história termal subsequente, ou seja, um feldspato que tenha sofrido um forte arrefecimento mas que ainda conserve a estrutura própria da sua formação é designado um feldspato de alta temperatura, como são os feldspatos das rochas vulcânicas; contudo, quando misturados com outros minerais são muito utilizados no fabrico de importantes materiais de uso corrente. Alguns dos feldspatos ocorrem em estados estruturais correspondentes a temperaturas intermédias.

Os feldspatos de baixa temperatura são aqueles cujas estruturas são próprias quer da cristalização a baixa temperatura quer de um arrefecimento lento a partir de temperaturas elevadas. Os feldspatos apresentam hábito prismático e cristalizam nos sistemas monoclinico e triclinico.

Estruturalmente, incluem-se no grupo dos tectossilicatos, constituídos por uma rede tridimensional de tetraedros SiO_4 , onde $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ de átomos de silício podem ser substituídos por Al, no caso dos termos feldspato sódico, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, e feldspato potássico, KAlSi_3O_8 , e no caso do feldspato cálcico, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, respectivamente.

Da substituição isomórfica de Si por Al, resulta uma deficiência de carga eléctrica que é compensada pela introdução de átomos de Na, K e Ca, em espaços existentes entre as cadeias dos grupos SiO_4 .

A maioria dos feldspatos pode ser classificada como membros do sistema ternário $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, que se denominam feldspatos de sódio, de potássio e de cálcio, respectivamente (fig.6).

Relativamente às composições químicas intermédias, os feldspatos designam-se de alcalinos quando se situam entre os membros sódicos e potássicos, e de sódico-cálcicos ou plagioclases, quando se situam entre os membros sódico e cálcico.

Dada a grande diferença de raios iónicos do K^+ e do Na^+ , 1,33Å e 0,98Å, respectivamente, a solução sólida na série alcalina apenas é completa para temperaturas elevadas. Quando a temperatura baixa, a solução sólida exsolve nas fases potássica e sódica, de que resultam intercrescimentos de feldspato potássico e de feldspato sódico, micro ou macrocristalinos, com as designações de micropertites ou macropertites e antipertites.

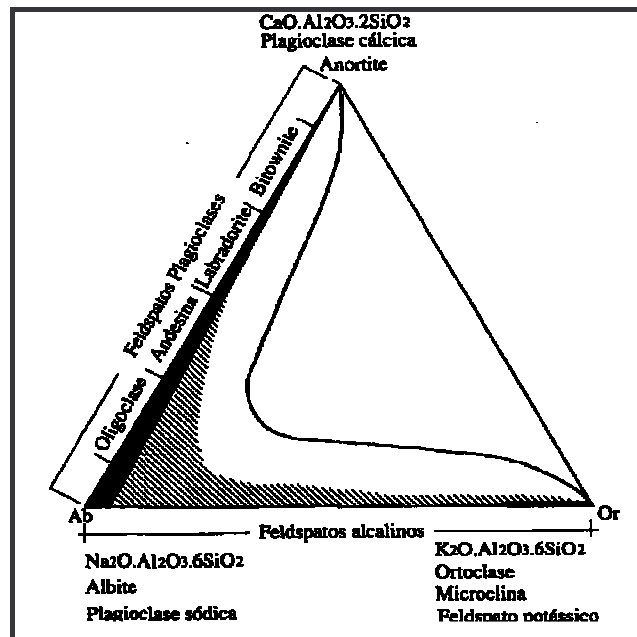


Fig. 6 - Soluções sólidas dos feldspatos (Velho, Gomes e Romariz, 1998)

Nas pertites, há um crescimento heterogêneo de lâminas finas de feldspato rico em sódio num cristal de feldspato potássico, em oposição ao que acontece na antipertite. Nesta série, os membros quimicamente distintos são a sanidina, anortoclase e albite (fig.7).

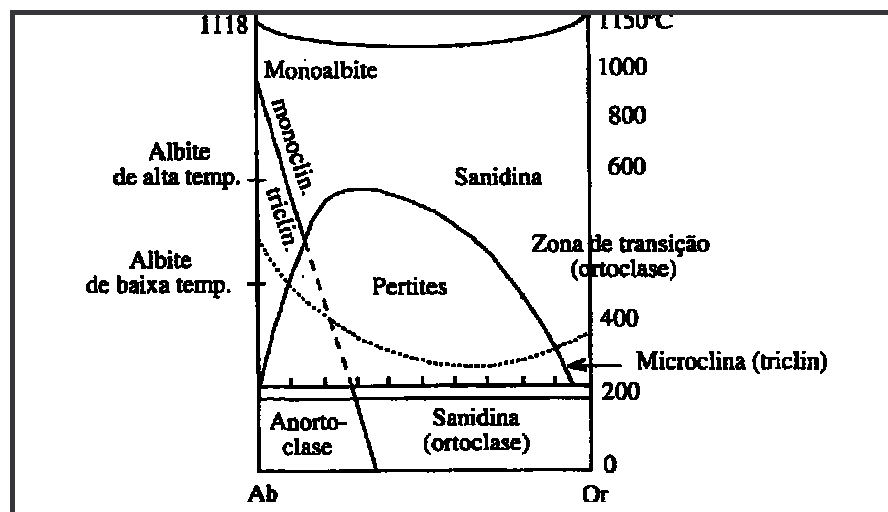


Fig. 7 - Relações sub-sólidas no sistema albite - ortoclase (Velho, Gomes e Romariz, 1998)

Os índices de refração nas séries alcalinas apresentam, para os limites inferior e superior de 1,518 e 1,522, respectivamente, ou 1,522 a 1,530 para a sanidina e 1,532 a 1,541, para a albite (Philips and Griffen, 1981).

Pelo contrário, na série calco-alkalina, dada a semelhança de raios iónicos do Ca^{2+} (0,99Å) e do Na^{+} (0,98Å) a solução sólida é completa para temperaturas relativamente baixas. A diferença na carga eléctrica é acompanhada pela substituição do Si^{4+} pelo Al^{3+} .

Esta série compreende as variedades albite, oligoclase, andesite, labradorite, bitownite e anortite.

Entre os termos KAlSi_3O_8 e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, dada a apreciável diferença de raios iónicos K^{+} (1,33Å) e Ca^{2+} (0,99Å), conjugada com a diferença na carga eléctrica dos mesmos iões, acontece que a solução sólida é muito limitada.

Relativamente à estrutura cristalina, os feldspatos alcalinos, $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$, dividem-se em monoclinicos (sanidina, ortoclase e adulária) e triclinicos (microclina, anortoclase, albite de baixa temperatura e albite de alta temperatura) (Quadro 2).

A difracção de Raios X é um procedimento analítico *standard* para identificação dos feldspatos e para a determinação da dimensão das células unitárias.

Quadro 2 - Composição teórica dos principais feldspatos (Velho, Gomes e Romariz, 1998)

FELDSPATOS	K_2O (%)	Na_2O (%)	CaO (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)
Microclina	16,9	----	----	18,4	64,7
Ortoclase	16,9	----	----	18,4	64,7
Albite	----	11,8	----	19,4	68,8
Anortite	----	----	20,1	36,6	43,3

A aplicação dos feldspatos na indústria cerâmica está de algum modo limitada, uma vez que certos contaminantes não são admissíveis e interessa, também, que as temperaturas de fusão sejam relativamente baixas, razão pela qual as plagioclases ricas em cálcio habitualmente não são aplicadas neste tipo de indústria pois fundem a temperaturas relativamente altas (1400 – 1500°C) e apresentam-se contaminadas com ferro e titânio.

Em consequência das diferentes temperaturas de fusão entre os feldspatos potássicos e sódicos, 1150°C e 1118°C, respectivamente, e também porque os feldspatos potássicos apresentam viscosidade de fusão superior à dos sódicos, os primeiros são preferencialmente aplicados em corpos cerâmicos e os segundos na indústria do vidro.

É importante que a fusão dos feldspatos se verifique a temperaturas relativamente baixas e exista reactividade durante a cozedura com os outros componentes dos corpos cerâmicos, o que será possível apenas se o teor em álcalis for elevado.

Se submetidos a temperaturas entre os 1100°C e 1400°C ocorre a dissolução de todos os componentes do corpo cerâmico permitindo a formação de um vidro leitoso de cor branca, porcelana (corpo cerâmico sinterizado) ou faiança (corpo cerâmico poroso), pelo arrefecimento do líquido formado durante a referida fusão.

O feldspato-K funde gradualmente durante um intervalo grande de temperatura e permite um escape mais fácil dos componentes gasosos no processo de cozedura provocando pequenas deformações do corpo cerâmico. Tal característica faz com que seja aplicado preferencialmente na indústria cerâmica.

Pelo contrário, o feldspato – Na é mais susceptível de sobreaquecimento e deformação do corpo cerâmico porque o líquido formado na fusão, que ocorre mais rapidamente, impede a libertação dos gases, originando maior porosidade do corpo cerâmico e uma diminuição da resistividade eléctrica.

A resistência dos corpos cerâmicos depois da cozedura é promovida pelo teor alto em Al dos feldspatos, devido à formação de mulite ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) que ocorre entre os 900-1000°C.

As temperaturas de vitrificação, amolecimento, fusão e fluidez dos feldspatos alcalinos são função do valor total de $(\text{K}, \text{Na})_2\text{O}$ e da relação $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. Assim, o teor álcalis mais elevado e uma diminuição do valor $(\text{K}, \text{Na})_2\text{O}$ fazem aumentar as temperaturas iniciais de fusão e os intervalos de vitrificação e de fusão.

2.3 Comportamento térmico e propriedades físicas dos feldspatos alcalinos (Na, K)

O elevado teor em álcalis dos feldspatos é a causa da fusão fácil e consequente reactividade dos feldspatos com os outros componentes dos corpos cerâmicos, quando cozidos.

A cor natural dos feldspatos alcalinos, como já foi dito, pode ser branca, amarela, vermelha, verde ou azul, enquanto que a cor das respectivas fusões ou vidros, é branca ou cinzenta clara.

A aptidão de determinado feldspato alcalino para vidrados ou para composições cerâmicas é avaliada com um microscópio de calefação o qual permite determinar exactamente os intervalos de temperatura em que se verifica a contracção, a vitrificação, o amolecimento, a fusão e a fluidez da fusão durante a queima entre 1100°C - 1700°C .

A correlação entre o total de $(K, Na)_2O$, assim como a relação K_2O/Na_2O com a temperatura de vitrificação, de amolecimento, de fusão e de fluidez de feldspatos alcalinos pulverizados, está expressa na figura 8 .

As temperaturas iniciais e intervalos de vitrificação e fusão sobem, principalmente com o decréscimo do total em $(K, Na)_2O$ e o aumento de K_2O/Na_2O .

Como se pode verificar as temperaturas que conduzem à fluidez dos materiais são bem diferentes para cada tipo de depósitos.

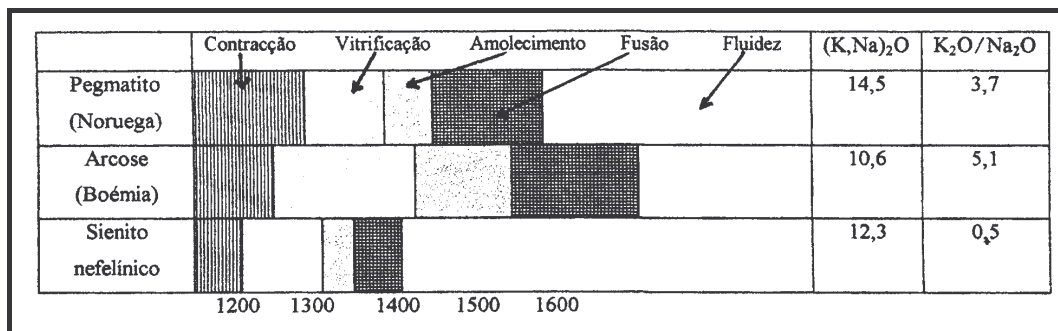


Fig. 8 - Comparação das regiões de contracção, vitrificação, amolecimento, fusão e fluidez, observadas ao microscópio de calefação, em feldspatos alcalinos provenientes de pegmatitos (Gomes, 1990).

3

*OCORRÊNCIAS GEOLÓGICAS DE QUARTZO
E FELDSPATO EM PORTUGAL*

3. OCORRÊNCIAS GEOLÓGICAS DE QUARTZO E FELDSPATO EM PORTUGAL

3.1 Ocorrências geológicas de quartzo

Os filões hidrotermais constituem uma importante fonte de quartzo em Portugal, com ocorrência no interior de maciços graníticos, do tipo brechiforme e exibindo pequenas espessuras (dezenas de metros) e extensão de alguns quilómetros, apresentando-se essencialmente quartzosos, em estruturas tabulares ou lenticulares, instalados em fracturas com direcção e pendor variáveis.

A grande ocorrência verifica-se no interior dos maciços graníticos do Norte e das Beiras, como se pode constatar pela observação da Carta Geológica de Portugal (escala 1:500.000), com orientação preferencial NE-SW ou NNE-SSW e, mais raramente, N-S ou NW-SE. Verificam-se, ainda, ocorrências no contacto dos maciços graníticos com formações metasedimentares.

Ribeiro *et al.* (1979) refere que no noroeste de Portugal a maioria dos pegmatitos se insere numa área cartográfica limitada geologicamente pela Zona Centro-Ibérica (incluindo a subzona Galiza Média-Trás-os-Montes, tal como indica na figura 9). As classes geológicas de pegmatitos referidas por Ginsburg *et al.* (1979) são:

- πt - pegmatitos miarolíticos, zonados, em corpos tabulares situados em cúpulas de plutonitos mais ou menos superficiais - tipo I.
- πb - pegmatitos miarolíticos, zonados, cerâmicos em bolsas situadas em cúpulas de plutonitos - tipo I.
- $\alpha\pi er$ - pegmatitos homogéneos e aplito-pegmatitos de elementos raros em grupos estruturalmente diferenciados, associados a plutonismo de profundidade intermédia - tipo II.
- πm - pegmatitos profundos, micáceos, homogéneos a subzonados - tipo III.
- πp - pegmatitos zonados, de elementos raros, em sectores de profundidade intermédia submetidos a deformação distensiva ou cisalhamento - tipo II.

- πa - pegmatitos abissais (de máxima profundidade), situados em ambientes de migmatitização - tipo IV.

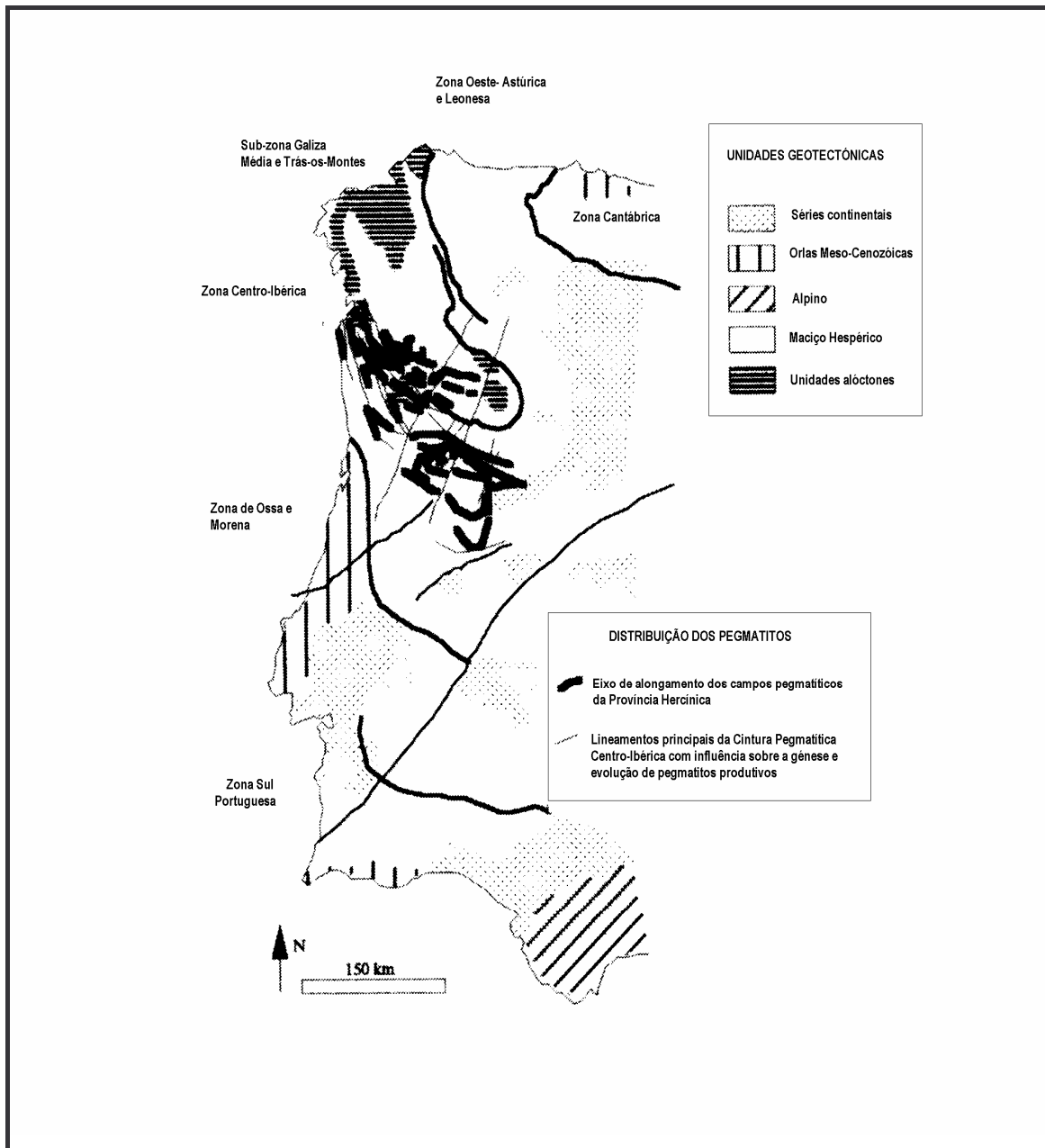


Fig. 9- Posição dos campos pegmatíticos no sector Português da Província Pegmatítica Hercínica (Gomes e Nunes, 2003).

É possível encontrar quartzo de várias gerações, sendo a mais antiga de grão grosseiro e com algumas inclusões e a mais recente de grão fino, com mais pureza e constituída por cristais formados em cavidades, evidenciadas pela estrutura zonada que os filões de quartzo de origem hidrotermal e metassomática exibem.

Considera-se que os depósitos filoneanos hidrotermais se dividem em dois tipos fundamentais:

1) Brechóide

Instalados em fracturas que sofreram reajustamentos tectónicos sucessivos, com movimentações e consequentes injeções de sílica que provocam a fragmentação do preenchimento quartzoso inicial e das paredes da rocha encaixante. Todo este processo vai permitir a entrada desses materiais nas fracturas e a cimentação por sílica, o que explica a fraca qualidade do quartzo deste tipo quando utilizado como matéria-prima.

Processos de lixiviação, sericitização ou cloritização, são bem visíveis no “encosto” destes veios e a dimensão das cavidades que contêm cristais de quartzo é directamente proporcional à intensidade de alteração das rochas do “encosto”. De um modo geral, quanto mais clorite existe no filão, mais puro é o quartzo que ele contém.

O quartzo de boa fusibilidade, e sem inclusões fluidas, pode encontrar-se em filões hidrotermais que foram metamorfizados ou segregados de rochas regionais, durante o metamorfismo regional. Contudo, o quartzo destes veios é geralmente de qualidade inferior, algumas vezes com baixo teor de sílica e alta percentagem de alumina e óxidos de ferro.

Apresentam-se constituídos por quartzo leitoso, podendo eventualmente conter geodes de cristais hialinos ou de tom levemente ametista, para além de feldspato, em regra caulinizado, e óxidos de ferro em percentagens variadas.

As figuras 10 e 11 ilustram filões de quartzo do tipo hidrotermal.

2) Não brechóide

Estes, tal como os anteriores, estão de igual modo instalados em fracturas, só que estas fracturas não foram afectadas por movimentações posteriores sensíveis, daí que este mineral habitualmente se apresente bastante homogéneo e com um grau de pureza bem mais elevado.

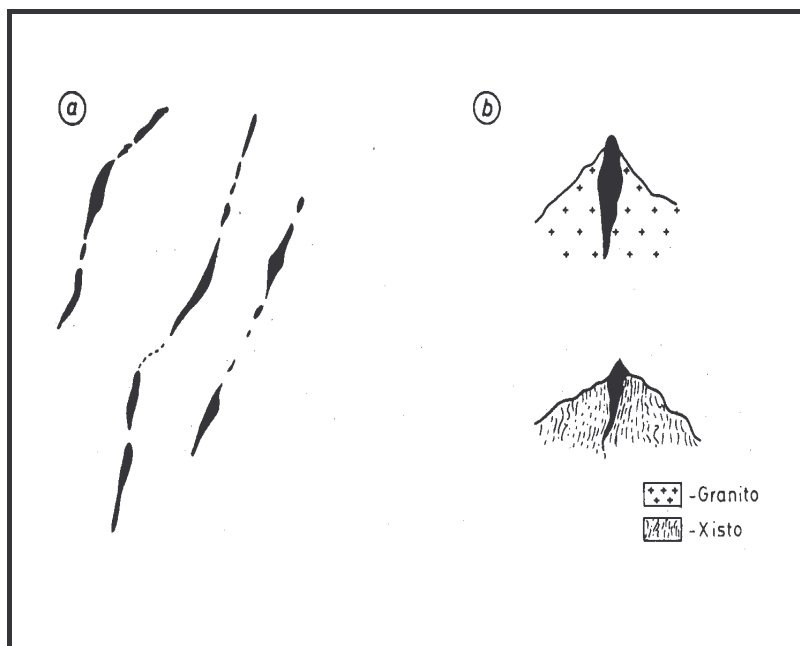


Fig. 10- a) Representação em planta de filões de quartzo hidrotermais ; b) perfis transversais de filões de quartzo hidrotermais (Gomes, 1990)

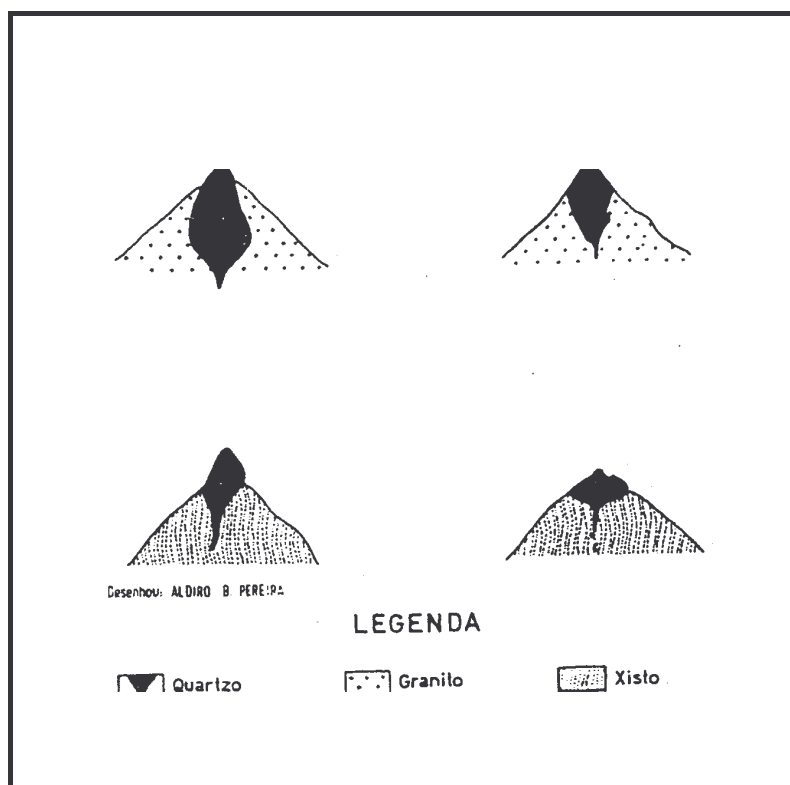


Fig. 11- Aspectos (em perfil transversal) de alguns filões de quartzo hidrotermal do tipo brechoide (Ramos e Oliveira, 1980)

Contrariamente ao tipo anterior, o quartzo dos veios não brechiformes é de melhor qualidade, mas a extensão e espessura com que ocorrem são geralmente reduzidas, apresentando pequenas reservas.

Estes filões de quartzo hidrotermal do tipo não brechóide, que afloram nas proximidades do contacto entre granitos e xistos encaixantes, apresentam mineralizações de cassiterite, volframite e/ou sulfuretos, podendo também apresentar-se preenchidos apenas por quartzo de boa qualidade. Geralmente os filões deste tipo apresentam-se muito limitados em termos de reservas, dado que são estreitos e sem grande continuidade.

A profundidade da ocorrência, para ambos os tipos de quartzo, é normalmente pequena e com apenas algumas dezenas de metros, podendo apresentar-se em profundidade com formas lenticulares, dependendo as reservas existentes do nível de erosão atingido, e a extensão é da ordem da dezena de quilómetros, com possanças que pontualmente chegam a atingir cerca de 50 metros.

3.2 Ocorrências geológicas de feldspato

Como minerais principais da maioria das rochas ígneas, os feldspatos ocorrem associados a outros minerais e com granulometrias finas, facto que limita a respectiva utilização na indústria dada a dificuldade de purificação.

As principais fontes de feldspatos são os pegmatitos, os aplitos, os granitos leucocráticos, o alaskito, os depósitos de origem aluvionar e de areia de praia.

Os pegmatitos e os aplitos estão associados à maioria dos complexos graníticos, onde podem ocorrer de diversos modos, tais como (fig. 12):

- Camadas intrudidas no último estágio de consolidação granítica, cortando o granito ou outras rochas encaixantes;
- Zonas superiores de bordadura das intrusões de cobertura;

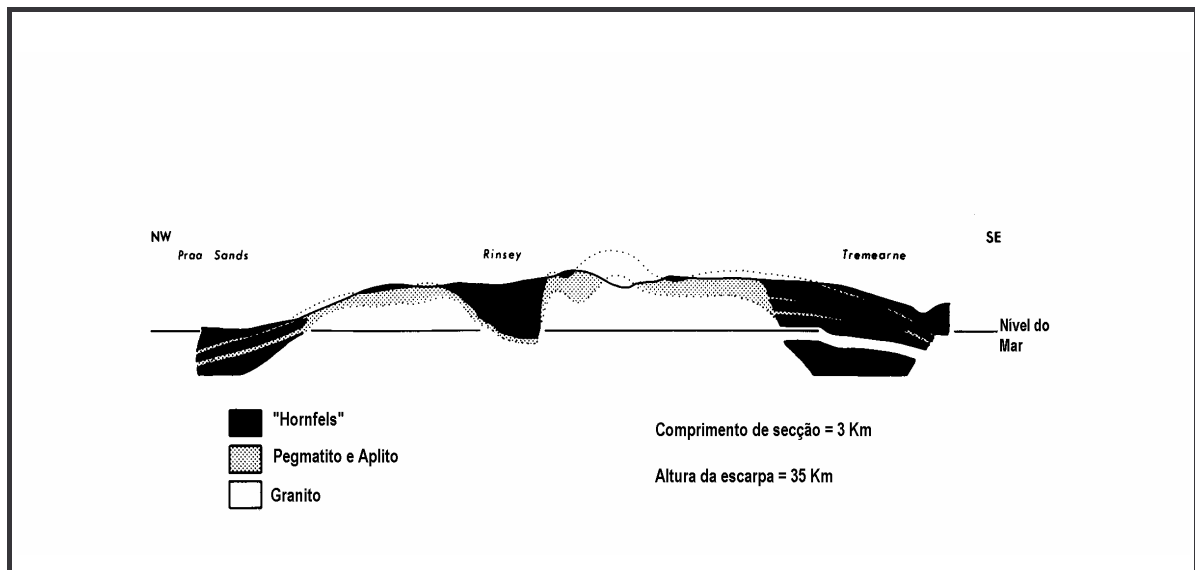


Fig. 12 – Secção crustal do granito de Tregonning-Godolphin, Cornualha (adaptado de Hall, 1998)

- Pequenas segregações enclausuradas pelo granito (fig. 13);

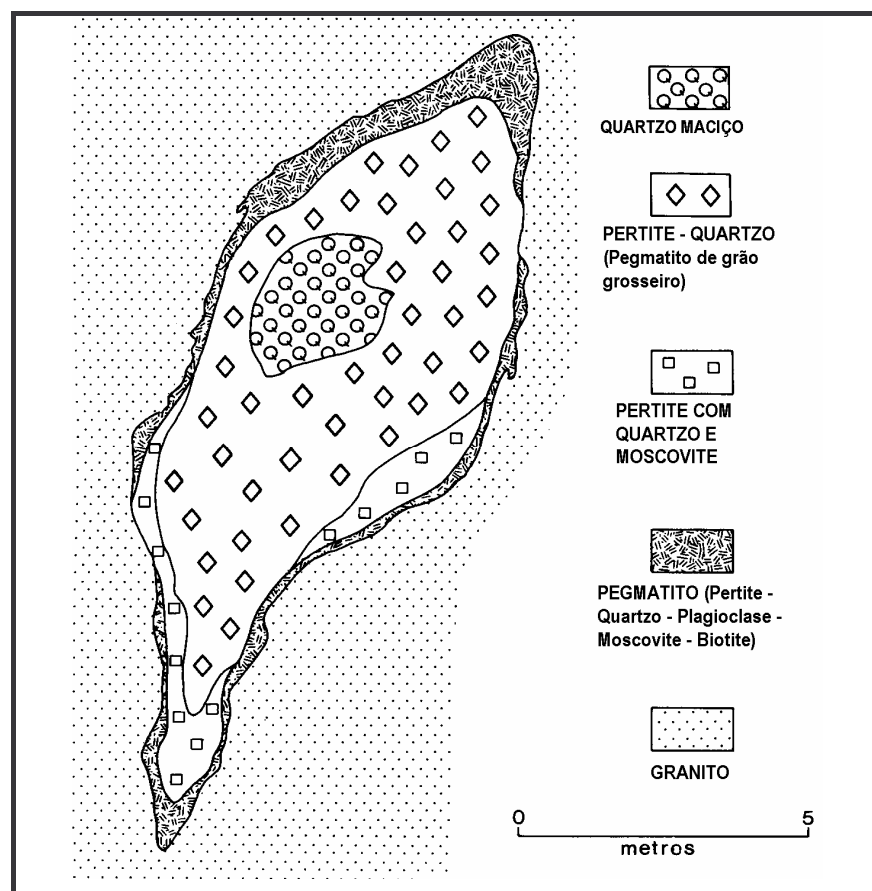


Fig. 13 – Representação geológica de um pegmatito granítico (adaptado de Hall, 1998)

- Veios lenticulares ou corpos irregulares em áreas de metamorfismo regional (figs. 14 e 15)

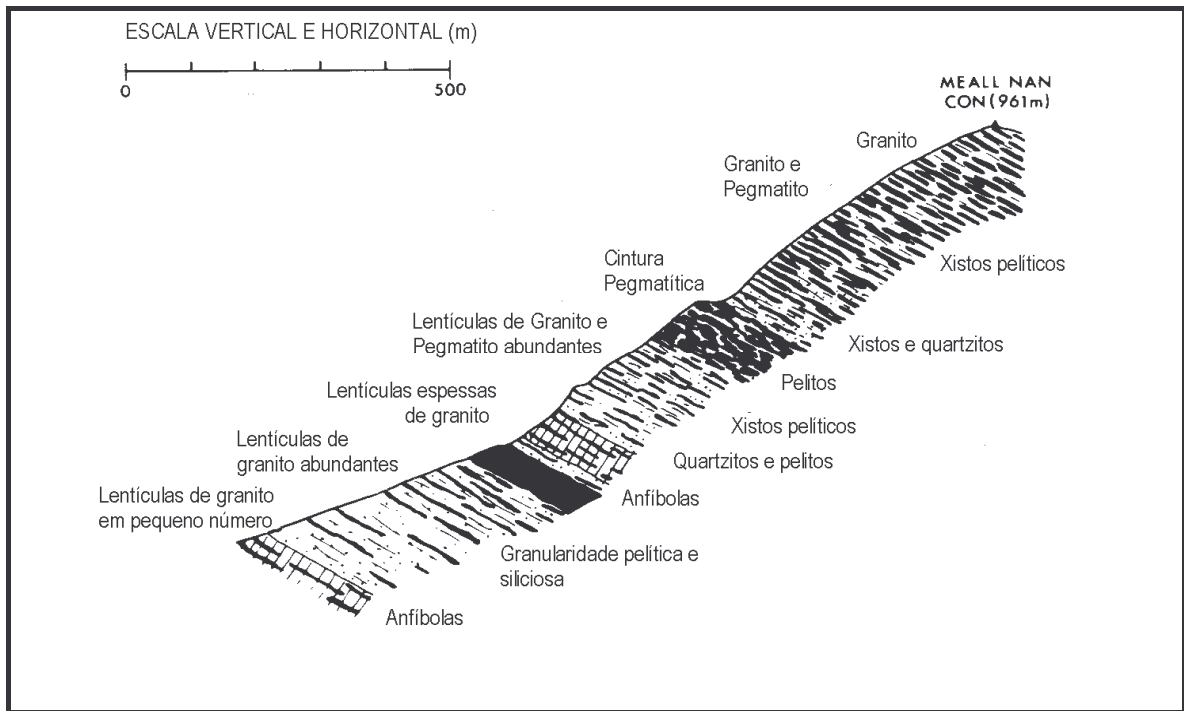


Fig. 14 – Secção do complexo migmatítico de Ben Klibreck no Loch Coire, Escócia (adaptado de Hall, 1998)

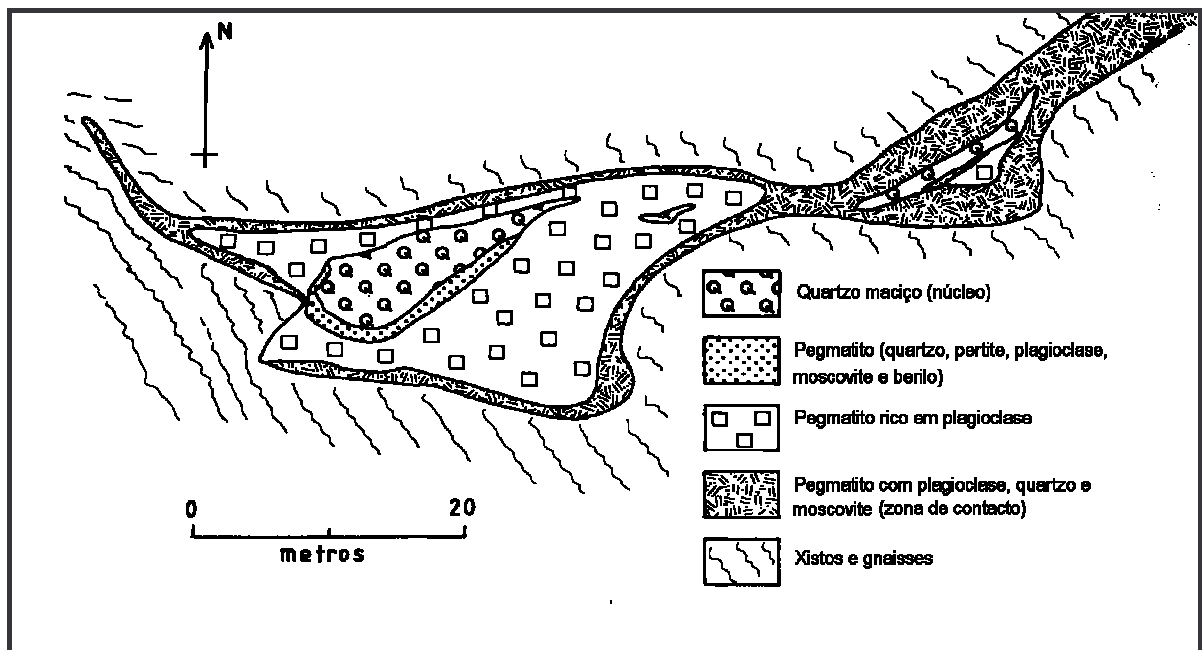


Fig. 15 – Representação geológica do pegmatito Drum, na Carolina do Norte (adaptado de Hall, 1998)

Os pegmatitos e os aplitos são ricos em elementos de baixo ponto de fusão dos granitos e pobres em constituintes de alto ponto de fusão, tais como minerais

ferromagnesianos e plagioclases cálcicas (Hall, 1998). Ainda, segundo o mesmo autor, a composição dos pegmatitos consiste em quartzo, feldspatos alcalinos (incluindo albite) e usualmente a moscovite, sendo menos comuns alguns minerais, designadamente a turmalina e a lepidolite.

Assim, os pegmatitos e os aplitos podem ser entendidos como o resultado final da fracção líquida da cristalização de um corpo magmático de grande dimensão, ou como uma fracção líquida inicial formada sob uma fusão parcial e progressiva, admitindo-se que em ambas as fases o magma granítico se apresenta relativamente rico em água¹.

Resulta, deste modo, uma interpretação de pegmatito como sendo um magma granítico cuja cristalização ocorreu na presença de uma fase aquosa fluida e o aplito como resultado de um magma equivalente do qual a água foi removida.

Os pegmatitos das áreas migmáticas mostram uma relação oposta, admitindo-se que na zona de fusão parcial havia a presença de alguma água livre, a qual terá resultado de reacções de desidratação de processos progressivos de metamorfismo regional.

Aquela água seria suficiente e coexistia com uma primeira e pequena fracção de fusão inicial, explicando assim a formação dos pegmatitos como resultado de uma fusão parcial remanescente e relativamente pequena, segundo Cameron *et al.* (1949) e Jahns (1955), que explicam deste modo a formação de diversos corpos pegmatíticos de pequena dimensão e individualizados.

Alguns pegmatitos que ocorrem na vizinhança de ambientes metamórficos exibem uma dimensão que não é compatível com um arrefecimento no local, de pequenas fracções iniciais de material fundido, apresentando-se intrudido em xistos e gnaisses, que não são migmáticos, e que eventualmente representam acumulações de material fundido que migrou para locais relativamente afastados do local onde tiveram origem.

Contudo, as intrusões graníticas estão presentes em muitas áreas de metamorfismo regional, pelo que existe a possibilidade de alguns pegmatitos

¹ Este processo já havia sido descrito por Jahns e Burnham (1969)

representarem uma segregação de fusão residual próxima, ou de um corpo granítico inferiormente posicionado.

Jahns e Tuttle (1963) mostraram que a composição das intrusões pegmatito-aplito aproximam-se do sistema Q-Or-Ab-H₂O, mas os componentes do pegmatito são geralmente ricos em K, enquanto os componentes do aplito são ricos em Na, devendo-se a diferença à transferência volátil, ou seja, redistribuição de K e Na na fase aquosa. Uma outra relação, também habitual nos corpos pegmatíticos, é o enriquecimento em quartzo similar aos filões de quartzo hidrotermal.

Estas formações ricas em quartzo foram, possivelmente, depositadas a partir de concentrações da fase aquosa que coexistiu com o magma. Alguns pegmatitos ocorrem enriquecidos em elementos raros, nomeadamente B, Be, F, Li e Sn, de que resultam a presença de turmalina, berilo, topázio, lepidolite e cassiterite.

Os elementos que surgem concentrados nos pegmatitos são os que estão fortemente compartimentados na fase aquosa, quando coexiste um fluido aquoso com o magma silicioso.

Os pegmatitos de composição gabróide são raros devido ao baixo teor em água nos magmas básicos. Contrariamente, as intrusões sienito-nefelínicas são frequentemente acompanhadas de pegmatitos de composição similar, possivelmente com modo de formação semelhante ao dos pegmatitos graníticos.

Os pegmatitos são rochas de grão grosseiro, cuja composição pode variar de granítica a gabróide, embora no nosso país seja maioritariamente granítica, pelo que habitualmente a referência a pegmatito significa pegmatito de natureza granítica.

Ocasionalmente, os pegmatitos surgem encaixados em rochas metamórficas, constituindo neste caso, estruturas geralmente tabulares com composição mineralógica mais simples e de menor interesse económico. A intrusão dos pegmatitos nos maciços graníticos (aos quais se associam geneticamente) levam a concluir que representam fases tardias de cristalização nos processos de instalação e de diferenciação dos maciços.

Assim, parece existir uma estreita relação entre os pegmatitos e os granitos “recentes” (tardi a pós-tectónicos) e os granitos de duas micas e megacrístais

(granulado médio a grosseiro) tal como referem Leal Gomes e Lopes Nunes (2003). No “*contexto da Província Hercínica (sector do NW Ibérico) os pegmatitos graníticos miarolíticos (classificação de Ginsburg et al., 1979) relacionam-se com granitos tardi a pós-tectónicos relativamente à 3ª fase de deformação hercínica (intra-vestefaliana D3). Na maior parte dos casos trata-se de granitos essencialmente biotíticos, de grão médio a grosseiro, por vezes porfiróides. Verifica-se correlação entre as dimensões e formas dos corpos pegmatíticos e a cronologia da implantação dos granitos parentais (Gomes, 1995a)*”.

Os conjuntos de pegmatitos intra-graníticos podem apresentar-se segundo bolsadas irregulares miarolíticas ou maciças, observadas em frentes de desmonte de minas de quartzo e feldspato (Arreigada, em Paços de Ferreira) e corpos tabulares miarolíticos cujas formas, dimensões e atitudes estão contempladas no modelo de intrusão-consolidação pegmatítica de Brisbin (1986) para estados reológicos frágeis (implantação a baixa profundidade) quando ocorre relaxação, sob pressão dirigida pouco intensa e sem que a presença de uma xistosidade tenha um efeito significativo sobre a configuração final do enxame pegmatítico, tal como explicam Leal Gomes e Lopes Nunes (2003).

A evolução morfológica observada num único sistema granítico residual, a Arreigada, onde segundo aqueles autores são observadas as massas litológicas correspondentes aos seguintes termos de fraccionação:

- Granito parental – com maior taxa de cristalização e maior viscosidade desempenha o papel de sobrecarga interna na cúpula do plutonito hospedeiro e exerce efeito de barragem à ascensão dos diferenciados pegmatíticos;
- Paineis de nucleação acoplada por diferenciação termogravítica- desenvolvem-se em faixas imediatamente abaixo da sobrecarga e podem evoluir para aplito-pegmatitos internos com transição gradacional para o granito;
- Granito ressurgente – enriquecido em componentes ferromagnesianos representa uma segregação por remoção de constituintes félsicos para os painéis de nucleação acoplada;
- Bolsadas circunscritas – representam compósitos magma/fluido/cristais enclausurados e limitados por interfaces líquido/líquido relativamente ao

granito ressurgente – podem evoluir morfologicamente e sofrer fraccionação interna potencialmente geradora de zonalidade, tal como se pode observar na figura 16.

O depósito da Sr^a. da Assunção, analisado neste trabalho, apresenta um rosário de bolsadas (Trabulo *et al.*, 1995 e Gomes *et al.*, 1997a).

O tamanho final das bolsadas é função do ritmo dimensional das unidades de estruturação litológicas das cúpulas graníticas e a respectiva geometria não depende do tamanho dos corpos, mas manifestam uma tendência fractal na forma, quando aglomerados em conjuntos no seio das irregularidades dos corpos plutónicos hospedeiros, como se pode observar na figura 17, que ilustra as frentes apicais em corredores de “mixing-mingling”.

Relativamente aos corpos tabulares miarolíticos Leal Gomes e Lopes Nunes (2003) referem que *“os pegmatitos amazoníticos apresentam uma localização cupular relativamente a plutonitos pós — D3. A sua implantação pode ser endo-granítica ou exogranítica e está em geral relacionada com fenómenos de desmonte magmático, quer por relaxação interna, geradora de faixas de descompressão tendencialmente horizontais, quer por colapso externo, gerador de rupturas paralelas à configuração da cúpula. Como consequência, a maioria dos pegmatitos amazoníticos apresenta uma atitude sub-horizontal a pouco inclinada, com possanças de ordem decimétrica, em corpos predominantemente tabulares.*

Estas formas, dimensões e atitudes estão contempladas no modelo de intrusão-consolidação pegmatítica de Brisbin (1986), para estados reológicos frágeis (implantação a baixa profundidade) quando ocorre relaxação subvertical, sob pressão dirigida pouco intensa e sem que a presença de uma xistosidade tenha um efeito significativo sobre a configuração final do enxame pegmatítico”.

Os pegmatitos quando inclusos em maciços graníticos “antigos” (sintectónicos) situam-se a pequena distância do contacto com os granitos tardi a pós-tectónicos. As zonas de cúpula dos batólitos graníticos pouco erodidos são favoráveis à ocorrência de pegmatitos. Estes instalam-se função de factores estruturais e genéticos, tais como zonas de tensão e de intersecção de alinhamentos estruturais e a composição e a textura das rochas encaixantes.

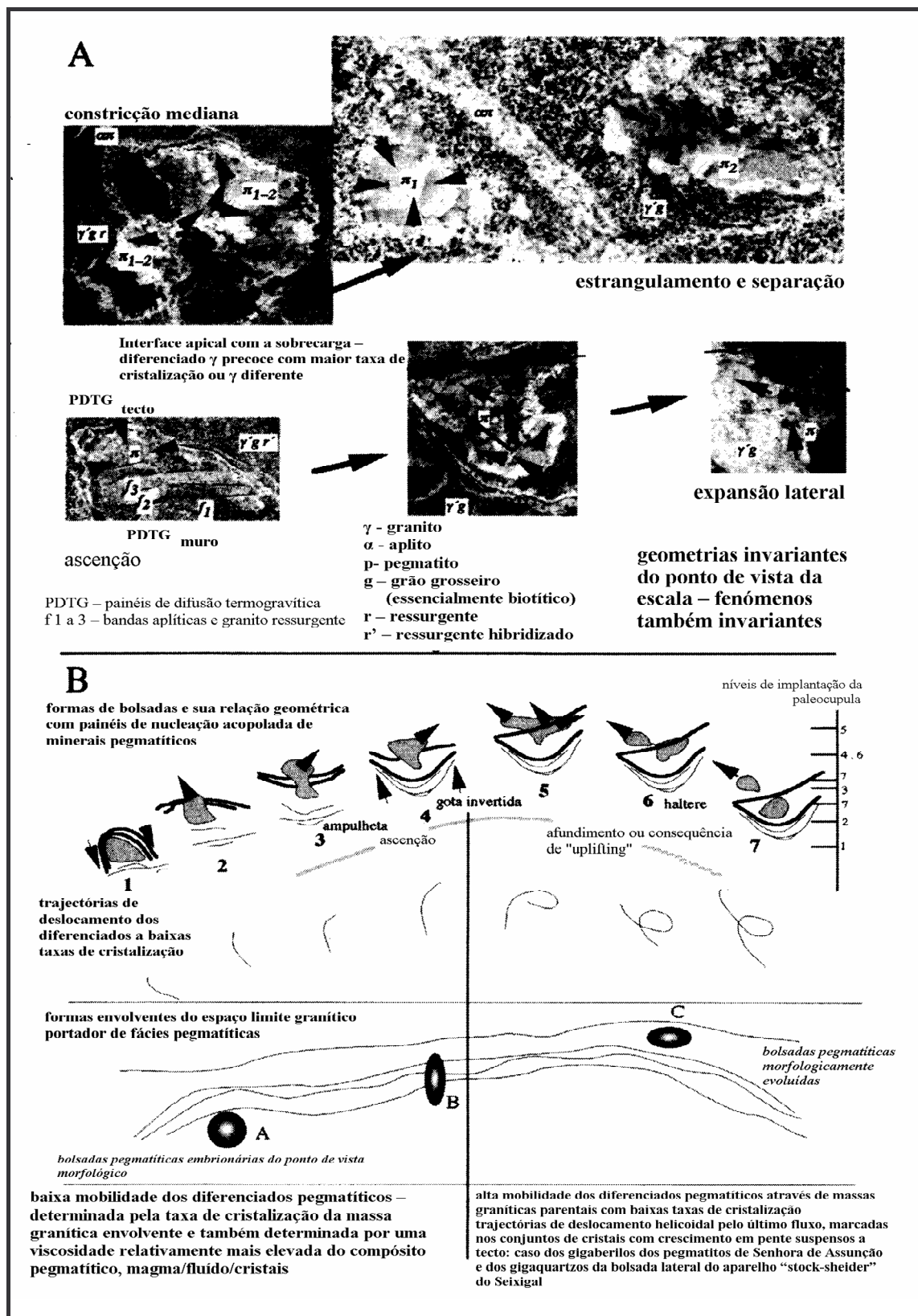


Fig. 16- Evolução morfológica observada num único conjunto de bolsadas pegmatíticas intra-graníticas atribuíveis a um único sistema granítico residual. A-imagens e respectiva análise geométrica; B- cinemática de implantação (Gomes e Nunes, 2003)

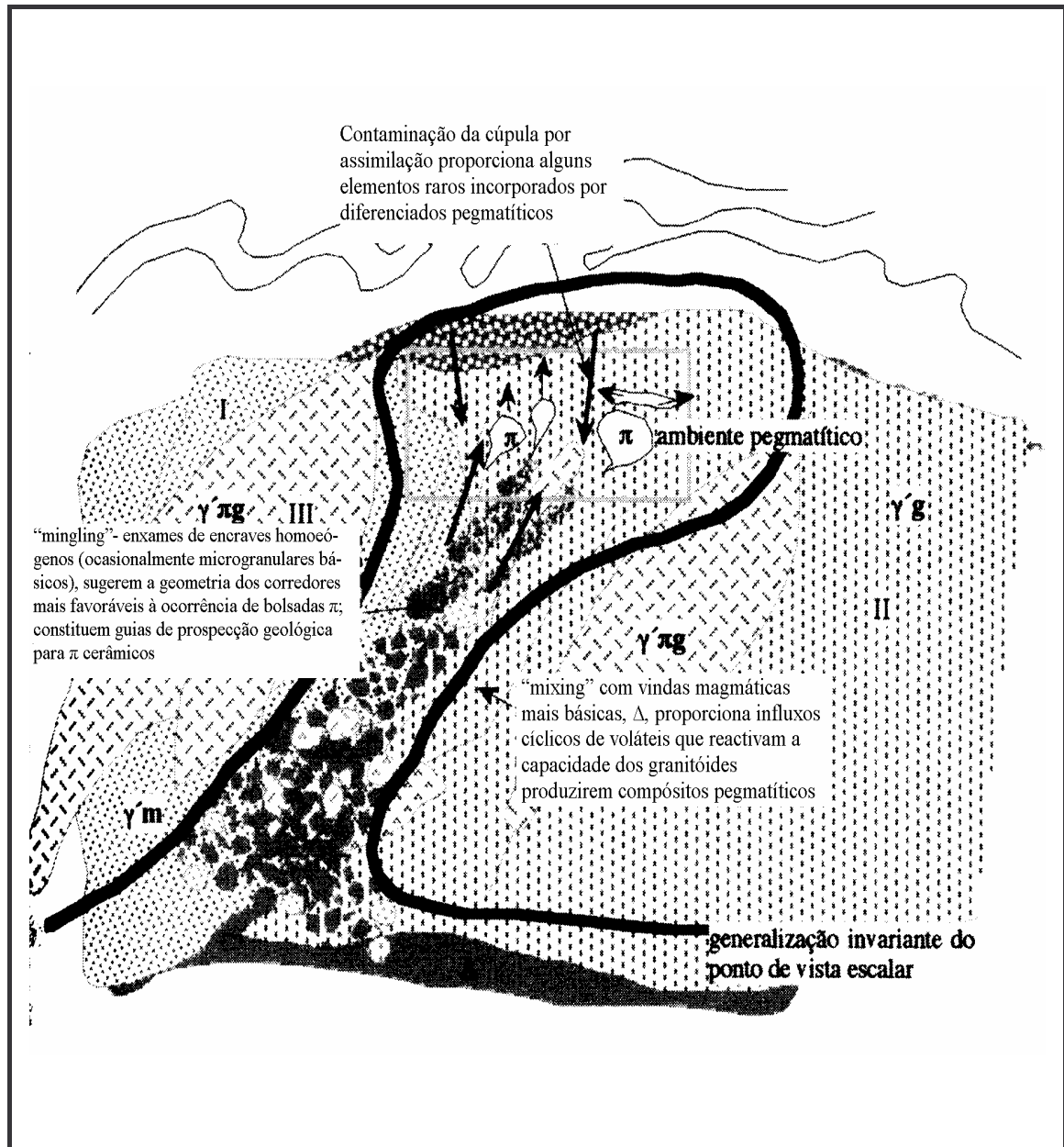


Fig. 17- Estruturação de um corredor de “mixing-mingling”, no seio de um complexo granítico ascensional. Generalização transversal obtida para o corredor de Azias (Ponte da Barca). I-II-III ordem de implantação dos granitos (relações de intrusão observáveis em afloramento). Granitos essencialmente biotíticos de grão médio - g'm ; de grão grosso - g'g; porfíroides - g'pg; granodioritos e rochas mais básicas- D; pegmatitos- p. (Gomes e Nunes, 2003)

Assim, Leal Gomes e Lopes Nunes (2003) afirmam que os maiores contrastes das características e propriedades dos pegmatitos manifestam-se nos modelos de controlo da instalação e evolução dos diferenciados², na tipologia e evolução

² Aqueles autores entendem “a divisão regional, campo pegmatítico, como o nível de organização mais adequado para discriminar estruturalmente os pegmatitos da Cintura Centro-Ibérica (CCI)”.

químico-mineralógica, nas paragénese de fraccionaçaõ culminante, nos quadros de evoluçaõ termodinâmica e das mineralizações específicas.

Relativamente aos modelos de controlo da instalaçaõ e evoluçaõ dos diferenciados, e tal como já referimos, o campo pegmatítico representa a divisãõ regional, e segundo aqueles autores, consideram-se campos de aplito-pegmatitos exo-graníticos, com sectores proximais, sectores dos antiformes adjacentes e sectores distais, e os já referidos conjuntos de pegmatitos intra-graníticos, que compreendem bolsadas irregulares miarolíticas ou maciças (de que é exemplo o sistema granítico residual da Arreigada) e corpos tabulares miarolíticos.

Quanto aos campos aplito-pegmatitos exo-graníticos, Leal Gomes e Lopes Nunes (2003), afirmam que *“em torno de plutões graníticos circunscritos com fácies de duas micas e carácter sin-tectónico, verifica-se uma disposiçaõ aureolar dos aplito-pegmatitos em faixas de alongamento NW-SE, sub-paralelos ao eixo maior dos afloramentos dos granitos. Esta orientaçaõ relaciona-se com a deformaçaõ regional D3 Varisca em regime dúctil. Os sectores situados mais próximos dos granitos sãõ referidos como proximais. Os sectores correspondentes às lacunas de afloramentos, por erosãõ, situam-se nos antiformes adjacentes aos plutonitos, por isso sãõ referidos como sectores dos antiformes adjacentes. Os sectores mais afastados dos plutonitos, que correspondem à deformaçaõ regional mais intensa, sãõ referidos como sectores distais. Os sectores de franjas distais dos campos em que podem estar presentes aplito-pegmatitos filiados em outros granitos, referem-se como sectores de interferência. Correspondem a sectores de sombra relativamente à deformaçaõ mais tardia de D3, pela presença de maciços graníticos próximos”*.

Relativamente aos sectores proximais, e segundo aqueles autores podem observar-se duas atitudes de aplito-pegmatitos: *“filões radiais-corpos de afloramento transversal ao contacto com o granito parental, apresentam-se “boudinados” e encurvados em D3, aparentemente deslocados sob efeito de uma transcorrência envolvente, que se teria iniciado ainda em regime dúctil e “sills”-corpos de afloramento paralelo ao contacto com uma atitude primitiva subhorizontal, modificada pelos dobramentos D3, mas nos sectores proximais em que se verifica o seu enraizamento nos granitos, manifestam ainda um encurvamento original, inclinando no sentido do granito, o que está estritamente de*

acordo com a geometria dos “sills” proposta no modelo de implantação de Phillips (1972, 1974)”, representado na figura 18.

Quanto aos sectores dos antiformes adjacentes, correspondentes ao arqueamento de formações metassedimentares encaixantes no decurso de D3, explica Leal Gomes e Lopes Nunes (2003), que podem existir bancadas de referência que marquem as dobras megaescalares adjacentes aos plutonitos paternos.

Afirmam, também, que os “afloramentos de aplito-pegmatitos destes sectores revelam uma implantação acima destas bancadas de referência em continuidade, com volumes de expansão lateral dos plutonitos parentais, quando estes manifestam morfologia diapírica. Segundo eles, são possíveis as seguintes situações: 1) corpos “sill” – raros, situam-se sempre nas proximidades da charneira dos antiformes adjacentes. Observa-se por isso uma lacuna erosiva no que respeita à sua continuidade e 2) “cone-sheets” - no sector dos antiformes adjacentes podem ocorrer relíquias de estruturas “cone-sheet” que retomam descontinuidades em “duplex” de D2. O afloramento destes corpos mostra uma trajectória paralela ao contacto do granito e a sua inclinação é centrípeta”.

Quanto aos sectores distais, estes apresentam a maior variedade de fácies e incluem corpos dos tipos “filões cruzados- filões precoces instalados em fracturas conjugadas; são dobrados e “boudinados” por D3 e “silis”-corpos das franjas do enxame de “silis”, mais afastadas do plutonito. Os corpos “sill” apresentam dobramento suave e são pouco inclinados”.

Estas formações pegmatíticas ocorrem, na sua maioria, dentro ou na periferia de massas eruptivas plutónicas, de composição essencialmente granítica.

O aspecto zonado que apresentam constitui uma característica marcante dos pegmatitos produtores de quartzo e feldspato. Trata-se de uma diferenciação traduzida pela ocorrência de unidades litológica e estruturalmente distintas entre si, relativamente à composição, textura ou ambas. Tendem a dispôr-se concêntricamente em relação a um núcleo central ou simetricamente no caso dos corpos tabulares.

Em termos gerais, segundo Ramos e Oliveira (1980), podem distinguir-se três zonas principais nos depósitos de natureza pegmatítica: Zona periférica – com quartzo, feldspato, mica e outros minerais, normalmente sem interesse económico,

devido à granulometria mais fina e à mistura de todos estes minerais; Zona intermédia – onde o feldspato normalmente predomina sobre o quartzo, sendo em alguns casos composta quase exclusivamente por feldspato potássico; Zona central – onde o quartzo é o mineral predominante e onde justamente apresenta maior pureza, associado a raras bolsadas de feldspato e/ou outros minerais.

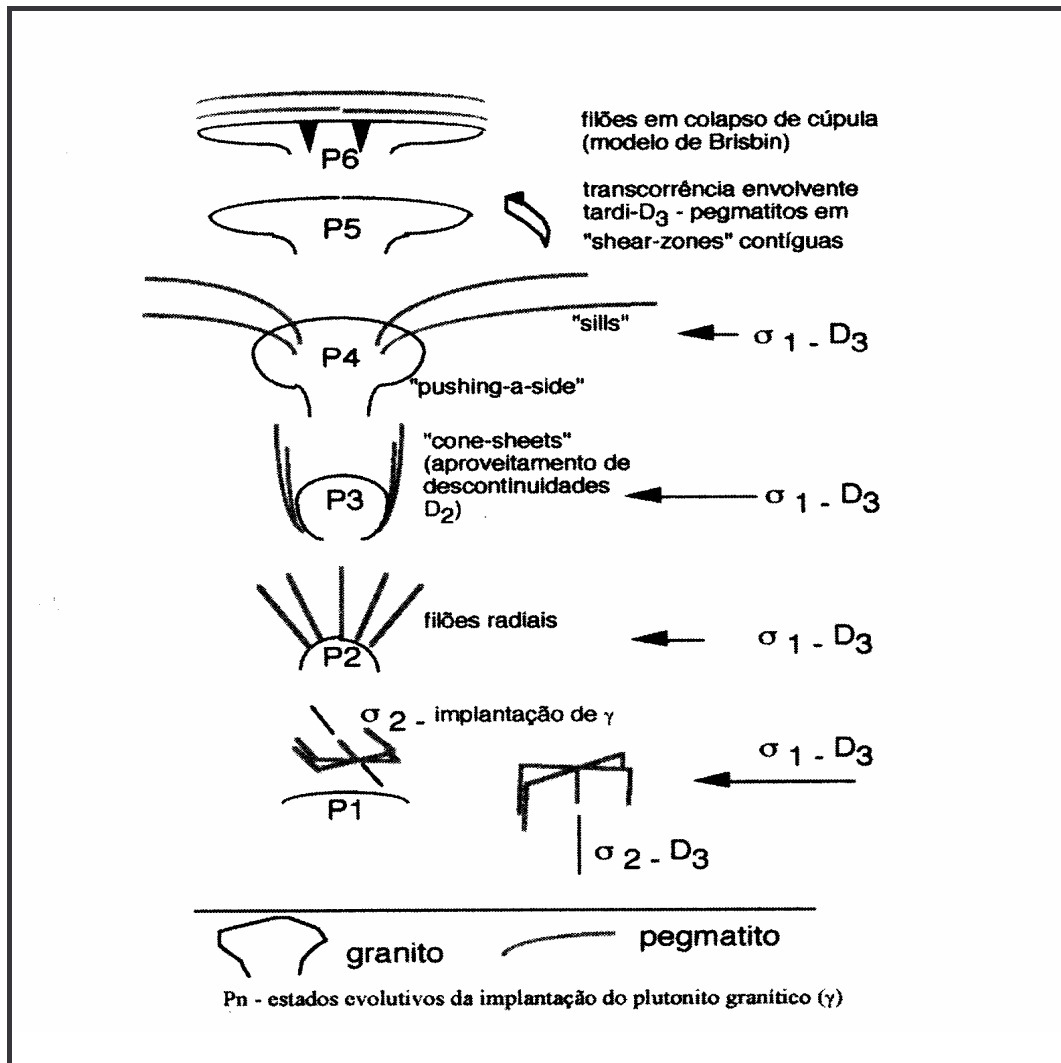


Fig. 18- Adaptação dos modelos de implantação filoneana de Philips (1972, 1974) e de Briston (1986) à tipologia morfológica dos aplito-pegmatitos exograníticos da CCI. (Gomes e Nunes, 2003)

Obviamente, as duas últimas zonas referidas são as que apresentam maior interesse sob o ponto de vista económico, para a produção de quartzo com boa qualidade comercial.

Verifica-se, habitualmente, que o tamanho e a percentagem relativa dos minerais podem variar dentro do corpo pegmatítico (em geral as dimensões aumentam progressivamente da periferia para o interior).

Relativamente à génese, os pegmatitos podem considerar-se metassomáticos e magmáticos; os primeiros são homogéneos, com composição mineralógica e estrutura simples, textura uniforme da periferia até à zona central e sem cristais de dimensões notáveis, enquanto os de origem magmática apresentam maior complexidade mineralógica, maior diferenciação e um notório zonamento.

Os depósitos de pegmatitos, dos quais se produz a grande quantidade de quartzo e feldspato em Portugal, apresentam geralmente forma lenticular ou ocorrem como largas massas minerais (fig.19). Um grande número de depósitos denota constância em termos de espessura, direcção e pendor.

Quando apresentam forma lenticular, as espessuras rondam os vinte metros e a extensão poucas centenas de metros. Relativamente às massas minerais, estas atingem volumes da ordem dos 20.000 m³. Em Portugal, as formas mais frequentes são as tabulares, lenticulares alongadas ou batolíticas, donde irradiam várias apófises.

Embora os pegmatitos estejam largamente distribuídos em todo o mundo, não são muito comuns ocorrências de feldspatos em grandes massas susceptíveis de exploração e suficientemente livres de impurezas.

Mineralogicamente, os componentes principais dos depósitos pegmatíticos, tal como já foi mencionado, são os feldspatos sódicos e potássicos, quartzo e moscovite. Muito raramente, em alguns pegmatitos, lepidolite, espodumena, moscovite e turmalina podem tornar-se constituintes principais.

Também ocorrem frequentemente turmalina e biotite, e em menor quantidade outros componentes tais como apatite, berilo, granada, cassiterite, volframite, torbernite, columbite-tantalite, fluorite, minerais litiníferos e diversos sulfuretos, como minerais acessórios.

O feldspato potássico é frequentemente a microclina, o feldspato sódico é quase sempre albite, mas bastante raro. O quartzo ocorre principalmente nas

variedades branco, rosa e cinzento, enquanto o tipo hialino é mais raramente encontrado.

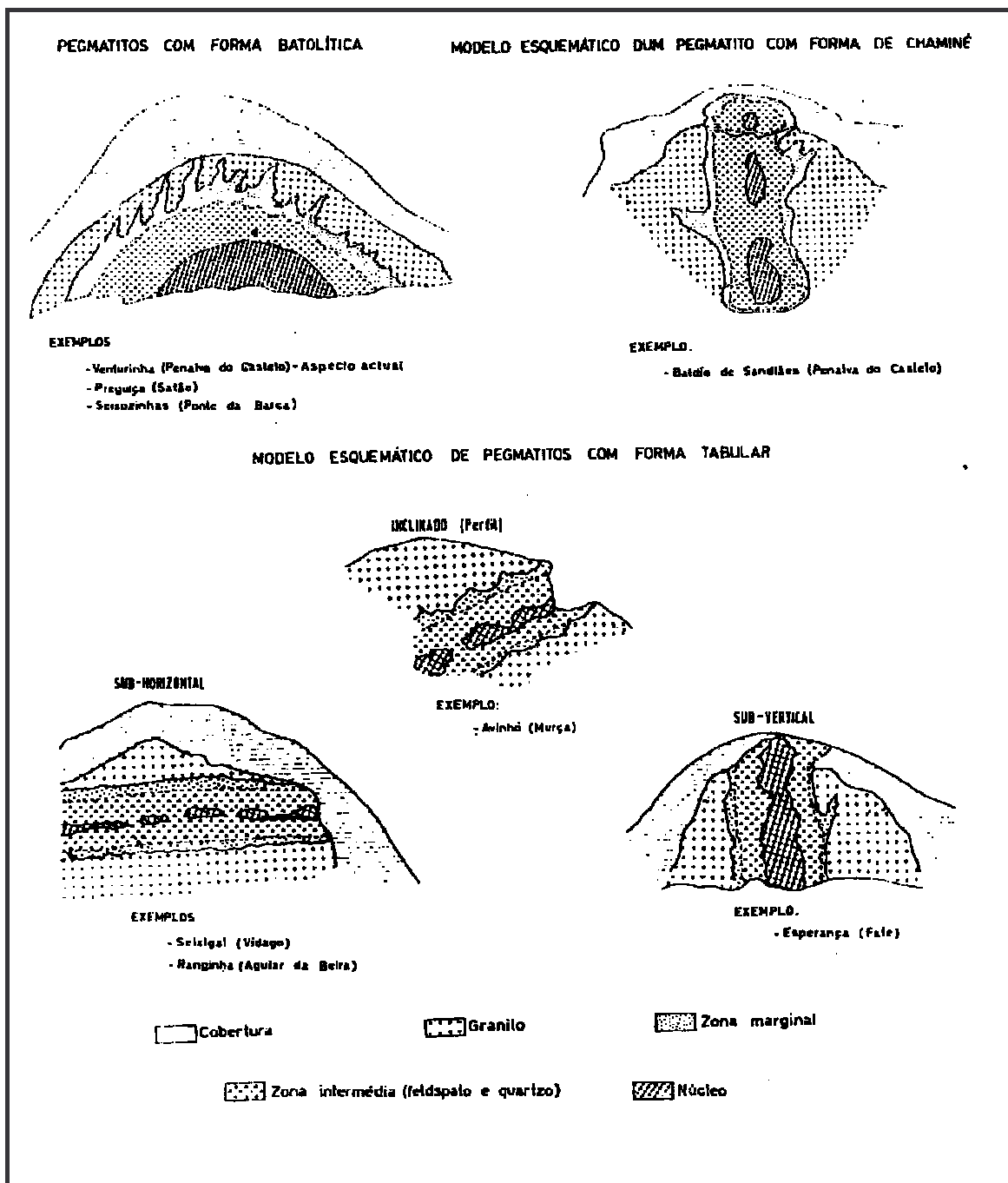


Fig. 19- Características morfológicas de alguns depósitos pegmatíticos portugueses (Ramos e Oliveira, 1980).

A moscovite ocorre na forma de pequenos cristais, flocos ou agregados e, geralmente, nas zonas periféricas dos depósitos. Na zona intermédia ocorrem bolsadas de micas, mas normalmente em volumes pouco significativos.

Os depósitos pegmatíticos são raros em Portugal, apenas pouco mais de uma centena poderão ser enumerados. As dimensões variam de estreitos filonetes centimétricos até aos grandes pegmatitos com comprimento e largura de 1500 metros e 30 metros, respectivamente. Ocorrem normalmente a pequena profundidade, que raramente atinge os 50 metros.

Embora normalmente de pequena dimensão com reservas quantificadas que na maior parte dos casos não excede vinte mil toneladas de quartzo e feldspato, são poucos os pegmatitos que apresentam maiores reservas.

Os pegmatitos constituem os depósitos de feldspatos tradicionalmente explorados. Em simultaneidade com a descida de temperatura e a cristalização dos minerais petrogenéticos vulgares, dá-se o enriquecimento do magma residual em voláteis, provocando o aumento de pressão no interior do magma que, associado à menor viscosidade deste, provoca a respectiva injeção através das superfícies de fraqueza das rochas encaixantes, até que se verifique a cristalização de novos minerais com dimensões apreciáveis.

O feldspato pode apresentar intercrescimentos com o quartzo e muitos outros minerais de interesse industrial, ocorrem associados ao feldspato e ao quartzo, tais como as associações que a seguir se indicam:

- Quartzo-feldspato potássico, biotite, minerais das terras raras;
- Quartzo-feldspato potássico, turmalina, moscovite, berilo, topázio;
- Quartzo-albite, mica potássica, mica hidratada, espodumena, minerais de metais raros (Ta, Su, Cs, etc.).

Os pegmatitos podem classificar-se em função das associações características de certos elementos metálicos: pegmatito com lítio, pegmatito com berílio, pegmatito com terras raras, entre outros, e também em função dos feldspatos presentes: pegmatito com albite-microclina, pegmatito com albite-oligoclase-microclina, entre outros.

Os pegmatitos zonados são os de maior interesse económico, uma vez que a zona intermédia é essencialmente produtora de feldspatos, onde predomina relativamente ao quartzo, ainda que possa também ocorrer moscovite e berílio.

O feldspato potássico pode ser substituído por albite quando a alteração hidrotermal (metassomática) é intensa. O núcleo é, essencialmente, formado por quartzo com algumas bolsadas de feldspato.

A qualidade do quartzo é função das impurezas a que pode estar associado, nomeadamente a alumina, o cálcio, o sódio e o potássio.

A exploração dos feldspatos potássicos e sódicos faz-se normalmente em simultâneo, já que a respectiva separação é possível de realizar em termos macroscópicos, pelas diferenças que exibem relativamente à cor, ao brilho e clivagem.

A título de referência indicam-se em seguida algumas características típicas impostas por determinados mercados:

- $K_2O < 11,5\%$
- $Fe_2O_3 < 0,10\%$
- $SiO_2 - 64,5\% - 66,5\%$
- $Na_2O - 2,5\% - 3,5\%$
- $Al_2O_3 - 18\% - 20\%$

Tal como foi já referido os aplitos e os granitos leucocráticos são outra fonte de feldspatos. Em oposição aos pegmatitos que apresentam grão grosseiro ou muito grosseiro, estes apresentam grão fino a médio e exibem cor branca ou quase branca.

Os aplitos apresentam geralmente a forma de dique e são compostos essencialmente por feldspatos (alcalinos e plagioclases sódicas) e quartzo.

Uma mistura de minerais com estas características, se não possuir outros minerais considerados como impureza, pode ser usada directamente na pasta. Portugal tem comercializado um produto com a designação de “Felquar” que resulta de um aplito com um certo teor em ferro.

Quanto aos granitos com 50-75% de feldspatos alcalinos, são de exploração menos habitual devido à dificuldade na separação dos minerais ferro-magnesianos, biotite, anfíbola e piroxenas que apresentam.

Uma outra fonte de feldspato são os sienitos nefelínicos, rochas magmáticas plutónicas deficientes em sílica, compostas essencialmente por potássio e nefelina

(feldspatóide de composição $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$, frequentemente com relação $\text{Na/K} \approx 3:1$. A substituição de quase 1:1 do Si tetraédrico por Al, a qual é contrabalançada electricamente por introdução de metais alcalinos na estrutura cristalina, faz com que o teor em álcalis na nefelina seja superior ao dos feldspatos.

Destacam-se como minerais acessórios nos sienitos nefelínicos, as piroxenas e anfíbolas alcalinas, biotite, esfena e magnetite. A separação dos minerais feríferos dos sienitos nefelínicos, faz-se através de operações de moagem, crivagem e separação magnética, esta por via seca (Bolger, 1995).

Apenas os sienitos com quantidades de nefelina superiores a 20%, apresentam interesse industrial, no fabrico de louças brancas (louça de mesa e sanitária) e outros tipos de porcelanas (eléctrica, química, dentária, etc.).

As rochas microlíticas ricas em feldspatos e feldspatóides podem também constituir uma fonte de feldspatos, sempre que possuam um baixo teor em ferro, tal como pode acontecer com o fonolito, equivalente extensivo do sienito nefelítico, com feldspatóide e nefelina. Trata-se de uma rocha que, tal como o riolito, é explorada na Alemanha.

Podem, ainda, considerar-se as arcoses que sob o ponto de vista geológico, são rochas ricas em feldspatos resultantes da acção de processos de meteorização, erosão e transporte a partir de rochas magmáticas ou metamórficas feldspáticas e de grão grosseiro.

Relativamente à mineralogia, apresentam-se constituídas essencialmente por associação, em proporções variadas de quartzo, caulinite, mica, feldspato e minerais ferrosos, que podem entender-se em termos industriais como uma mistura de areia siliciosa, areia feldspática e mica.

Por último, podem-se considerar fonte de feldspato os depósitos de origem aluvionar e de areia de praia como se verifica na Califórnia onde se explora o “solspar”, mistura de feldspato (50%) e quartzo, a partir de areias dunares.

Em seguida apresenta-se o quadro 3 com a síntese da génese dos feldspatos.

Quadro 3 – Génese dos Feldspatos

PEGMATITOS	
Rocha-mãe	Filões ou veios que se encontram na bordadura ou que cortam “stocks” e batólitos. Instalados no interior de maciços graníticos.
Condições de origem	A intrusão dos pegmatitos nos maciços graníticos leva a concluir que representam fases tardias de cristalização nos processos de instalação e diferenciação dos maciços. Diversos factores estruturais e genéticos que condicionam a instalação de pegmatitos.
Ocorrência dos depósitos	Formas tabulares, lenticulares alongadas ou batólitos de onde irradiam inúmeras apófises. Alguns apresentam-se ramificados e irregulares, ou semelhantes a pequenos batólitos. Dimensões variáveis. Rochas de grão grosseiro com composição variável. Associados com o feldspato, embora localmente possa haver dominância de um deles.
Minerais acessórios	Berilo, turmalina, biotite, apatite, columbite, tantalite, cassiterite, volframite, sulfuretos, minerais de urânio, granadas, fluorite, fosfatos e minerais litiníferos.
ARCOSES	
Rocha-mãe	Areias graníticas ou gnaissicas.
Condições de origem	Resultante da acção de processos de meteorização, erosão e transporte de rochas ígneas ou metamórficas feldspáticas e com grão grosseiro.
Ocorrência dos depósitos	Depósitos sedimentares.
Minerais acessórios	Turmalina, óxidos de ferro, cassiterite e moscovite.
APLITOS E OUTROS GRANITOS LEUCOCRÁTICOS	
Rocha-mãe	Massa de origem granítica
Condições de origem	Apresentam geralmente forma de dique.
Ocorrência dos depósitos	Grão fino a médio com cores claras.
Minerais acessórios	Minerais feríferos.
SIENITOS NEFELÍNICOS	
Rocha-mãe	Massa de rocha sienítica rica em nefelina.
Condições de origem	Consolidação de um magma alcalino.
Ocorrência dos depósitos	Cor geralmente clara. Textura com hábito vulgarmente tabular dos feldspatos.
Minerais acessórios	Piroxenas, anfíbolas alcalinas, biotite, esfena e magnetite.

4

PROSPECÇÃO E PESQUISA

4. PROSPECÇÃO E PESQUISA

A fase de pesquisa deverá ser orientada pelo conhecimento geológico das formações com aptidão para conter materiais feldspáticos e quartzo, à qual se segue o reconhecimento geológico e a cartografia das áreas onde é conhecida a existência dessas formações.

Porém, a exploração destes materiais fez-se, tradicionalmente, em depósitos aflorantes, o que muito contribui para o actual desconhecimento das reservas nacionais, quantitativa e qualitativamente.

Assim, torna-se necessário investir fortemente na detecção de depósitos não aflorantes, uma vez que os depósitos aflorantes, na sua grande maioria já estão detectados e, em muitos casos, foram já explorados ou estão em fase de exploração.

Esse trabalho de detecção a realizar deve recorrer a métodos indirectos de prospecção e/ou sondagens, nas áreas previamente consideradas como favoráveis.

Para que a prospecção destes depósitos possa ser bem sucedida deverão ser utilizados vários métodos em conjugação, nomeadamente de natureza geológica, geoquímica e geofísica.

Tal razão prende-se com o facto de os depósitos pegmatíticos e hidrotermais ocorrerem em zonas graníticas, nas quais as rochas exibem alguma semelhança sob os pontos de vista químico e mineralógico, dificultando o bom desempenho dos métodos indirectos de prospecção, já que o contraste entre elas é pouco significativo.

A aplicação sucessiva e integrada dos referidos métodos poderá contribuir, de modo bastante satisfatório, para a descoberta de depósitos pegmatíticos de fraca exposição à superfície.

Podem considerar-se áreas de particular interesse as que evidenciam afloramentos de maciços graníticos tardi a pós-tectónicos, de grão médio a grosseiro, com fenocristais, tal como zonas de cisalhamento ou intersecção de grandes alinhamentos estruturais.

Igualmente, deverão ser tidas em atenção zonas que denotem acções metassomáticas e apófises ou filonetes pegmatíticos.

Deste modo será possível definir áreas de interesse que, depois da análise convergente dos métodos de prospecção geológica de pormenor, poderão evidenciar eventuais anomalias.

A prospecção de carácter litogeoquímico, apoiada na colheita de amostras de litotipos, principalmente rochas e solos, nas áreas definidas como de maior potencial, com uma malha regular e adequada, conduzirá à determinação dos teores dos elementos, às variâncias estatísticas correspondentes à distribuição dos elementos, a relações inter-elementos e relações multiplicativas ou aditivas entre grupos de elementos.

O facto de a intrusão de um corpo pegmatítico provocar uma alteração metassomática mais ou menos marcante no granito encaixante, contribui para que o método de resistividade possa ser bem sucedido, especialmente nos pegmatitos zonados, nos quais o núcleo é formado por quartzo, o qual originará picos de resistividade, dado que este apresenta valores bem superiores aos dos restantes minerais.

A prospecção magnética não se mostra tão eficiente, pois o maior número de minerais magnéticos encontra-se apenas junto das paredes de alguns pegmatitos, não existindo grandes diferenças de campo magnético entre o pegmatito e o granito encaixante.

Com o intuito de auxiliar a avaliação do potencial económico deverá executar-se sondagens, e respectiva amostragem, para determinar a extensão e qualidade do material (fig. 20).



Fig. 20 – Equipamento de Sondagem

Perfurações inclinadas ou quando em presença de intensa fracturação podem ter como consequência uma fraca recuperação das amostras

Nas situações onde não seja possível a perfuração, especialmente em rochas que constituem o tecto ou muro do filão, pelo grau de alteração que apresentam, as sondagens podem ser substituídas por valas ou sanjas, executadas com equipamentos de escavação mecânica.

Tal como sucede com as sondagens, também após a escavação das sanjas deverá efectuar-se uma conveniente amostragem do material pretendido, para determinação dos teores por metro cúbico escavado.

4.1 Métodos geofísicos

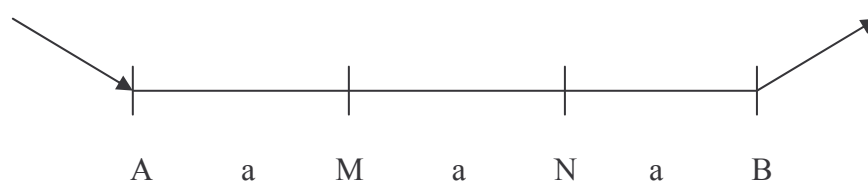
Estes métodos são utilizados no intuito de definir a extensão e limites dos potenciais depósitos. Assim, sobre alguns dos depósitos estudados neste trabalho aplicou-se uma série de sondagens eléctricas verticais.

Trata-se de um método bem conhecido, de relativamente fácil aplicação no campo e cuja interpretação dos dados obtidos fornece, não apenas elementos sobre a natureza das formações atravessadas, mas também sobre a profundidade das mesmas.

4.1.1 Sondagens eléctricas verticais

A resistividade é definida como a maior ou menor dificuldade de uma corrente eléctrica atravessar um determinado material.

A sondagem eléctrica mede directamente a resistividade de um material quando atravessado por uma corrente eléctrica, o que na prática corresponde na medição da variação de potencial produzido entre eléctrodos emissores e receptores, tal como se indica no esquema seguinte (A e B são eléctrodos emissores; M e N são eléctrodos receptores).



Para um solo supostamente homogêneo, e de resistividade ρ , no qual se introduz uma corrente de intensidade I , resulta uma diferença de potencial entre M e N dada pela seguinte expressão:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\Pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{NA} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)}$$

Saliente-se que, a resistência do solo $R = \Delta V / I$ é função do solo e da disposição geométrica entre os diferentes eléctrodos. Fazendo:

$$K = \frac{2\Pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{NA} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)}$$

Obtendo-se para valor da resistividade:

$$\rho = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

sendo K designado de coeficiente geométrico.

No caso do equipamento Wenner, utilizado neste trabalho, todos os eléctrodos são colocados à mesma distância a . Apenas este parâmetro depende do dispositivo experimental, e o coeficiente geométrico resulta de uma expressão simples:

$$K = 2\Pi a$$

Tal como acontece com o equipamento RMCA4 utilizado neste estudo, ele foi aplicado para profundidades de investigação inferiores a 20 metros.

A relação anterior é apenas aplicável a solos homogêneos, o que na realidade muito dificilmente acontece, pelo que para a determinação da resistividade aparente de um determinado material se deve utilizar a seguinte relação:

$$\rho = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

Este valor é independente do equipamento utilizado e resulta da diferença de resistividade entre todos os corpos presentes no subsolo até à profundidade a investigar, profundidade essa que aumenta com o afastamento entre eléctrodos.

Aumentando sucessivamente a distância entre eléctrodos, é possível obter diferentes valores de resistividade, na vertical de um determinado ponto, correspondentes a profundidades de investigação crescentes.

Os contrastes de resistividade das diferentes unidades presentes no subsolo vão sendo medidos e registados ao longo da profundidade de investigação, e a curva de resistividades aparentes fornece informação qualitativa relativamente à diferença de contrastes de resistividade encontrada e quantitativa relativamente à profundidade a que as mesmas ocorrem.

A relação entre a profundidade de investigação e o afastamento entre eléctrodos depende obviamente do tipo e complexidade do equipamento utilizado, pelo que não deverá ser estabelecido em termos absolutos, dado que apenas experimentalmente será possível estabelecer essa correlação.

Este método baseia-se no registo dos contrastes de resistividade, daí que apresente melhores resultados sempre que o contraste seja elevado, o que no caso dos depósitos considerados neste trabalho nem sempre acontece uma vez que o quartzo exhibe elevada resistividade, tal como o granito “são” e o greisen. Contudo, constatou-se empiricamente em campanhas anteriores que, ao longo do tempo, foi possível distinguir a influência da resistividade daquelas rochas.

O método não permite o uso dos valores absolutos, em parte porque são muitos os parâmetros que influenciam a resistividade de uma rocha e, também, porque os valores absolutos da resistividade das rochas são definidos em intervalos largos de valor e apenas se mede a resistividade aparente do subsolo a uma determinada profundidade, sendo essa medida função dos diferentes corpos presentes até à profundidade considerada.

Na campanha realizada foram utilizados dois equipamentos: o RMCA4 e o ME100, sendo primeiro mais ligeiro, mais fácil de utilizar e susceptível de aplicação em todo o tipo de terreno, ao contrário do ME100 que se revelou mais sensível à natureza do subsolo e com algumas limitações em alguns tipos de terreno, até porque os eléctrodos são de ponta metálica que tem de ser cravada no solo, o que nem sempre acontece de modo satisfatório,

obrigando algumas vezes a humedecer o solo ou escolher outro local para que a linha de corrente estabilize.

O equipamento ME100 permite investigar até profundidades da ordem dos 300 metros enquanto o RMCA4 apenas funciona para profundidades até aos 20 metros. Todavia, por razões de operacionalidade foi mais utilizado este último equipamento.

Os resultados das medições são registados num gráfico log-log, no qual a resistividade é representada em ordenada e a distância em abcissas. A forma das curvas obtidas permite caracterizar o número de camadas com diferentes resistividades e a que profundidade se encontra cada uma delas.

Esta etapa de reconhecimento das camadas do subsolo necessita do conhecimento prévio das resistividades dessas mesmas camadas, no intuito de definir uma gama de valores podendo, em seguida, determinar-se a resistividade absoluta e a profundidade aproximada de cada camada fazendo coincidir com a curva real, quer manualmente quer com auxílio de suporte informático, com troços de curvas de ábacos correspondentes a cada modelo.

Nesta fase é possível proceder intuitivamente ao reconhecimento das zonas de influência das camadas, sobre as curvas, com base na forma e gamas de valores de resistividade das diferentes camadas extrapolando a partir da curva de sondagem padrão. Também pode ser utilizado um método empírico para determinar a profundidade de contacto entre duas camadas.

Este método foi aplicado nos seguintes depósitos:

1) Mata da Galinheira

Trata-se de uma mina situada a 10 Km a SE de Ponte da Barca, aberta num pegmatito com um núcleo de quartzo e encaixado em granito “são”, onde é visível uma antiga frente de desmonte com cerca de 40 metros de largura e 20 metros de altura (fig. 21).

A referida frente de desmonte está representada esquematicamente no figura seguinte. As medições e as curvas registadas nas sondagens eléctricas verticais realizadas encontram-se no anexo 1A.

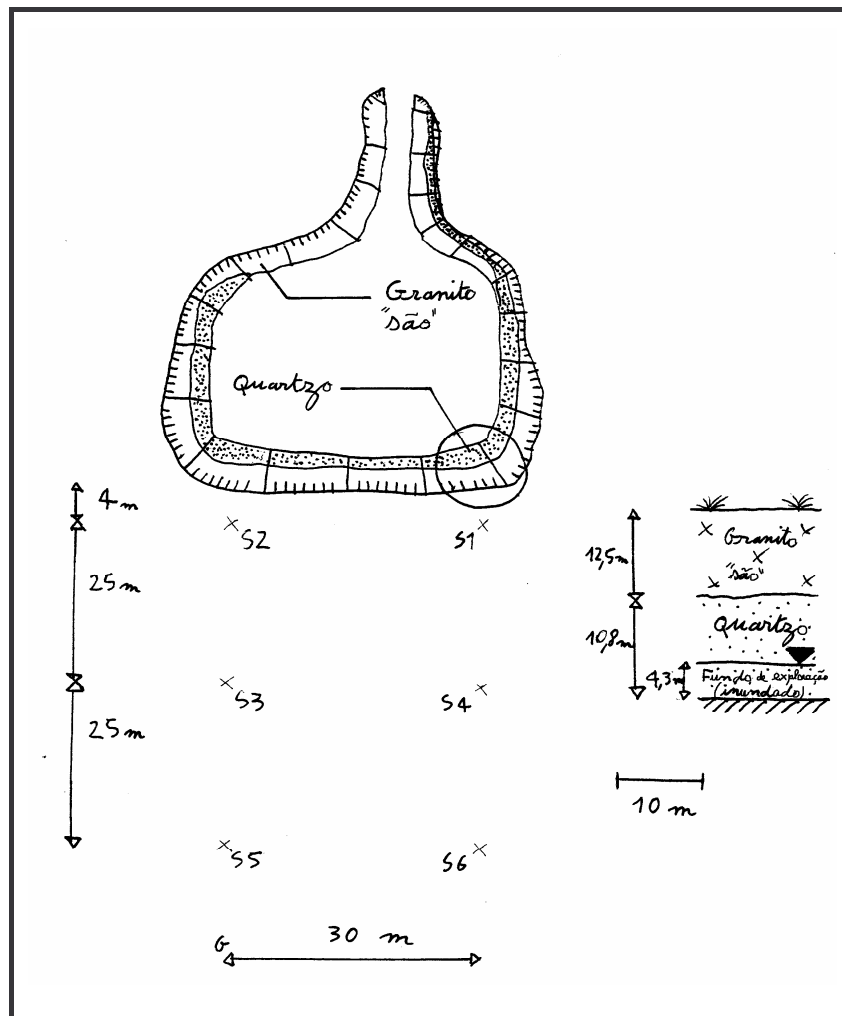


Fig. 21- Esquema de implantação das sondagens eléctricas na Mata da Galinheira

Nas curvas obtidas das sondagens distinguem-se 3 famílias de resistividade:

- Uma entre 10000 Ωm e 20000 Ωm que se manifesta sempre no início das sondagens;
- Uma em torno dos 25000 Ωm , que apenas são visíveis sobre as curvas S1, S2 e S5;
- Uma outra compreendida entre 6000 Ωm e 9000 Ωm (esta família de resistividade está mal definida e precisaria de medições a maior profundidade para a respectiva caracterização).

Com os valores obtidos não é aconselhável interpretar geologicamente as sondagens, pois as duas primeiras famílias de resistividade referidas apresentam valores

muito próximos e a última apresenta valores que podem resultar de um granito alterado ou uma camada de feldspato desse pegmatito. Neste caso, apenas se poderá proceder a uma interpretação geológica mais rigorosa com a realização de sondagens mecânicas.

2) Seixos Alvos

Trata-se de uma antiga exploração situada a oeste de Viseu, e que dista desta cidade cerca de 20 Km. A frente de desmonte ainda visível apresenta um filão pegmatítico de quartzo, muito fracturado, com uma espessura da ordem dos 20 metros, encaixado num granito muito alterado e com alguma caulínização (fig. 22).

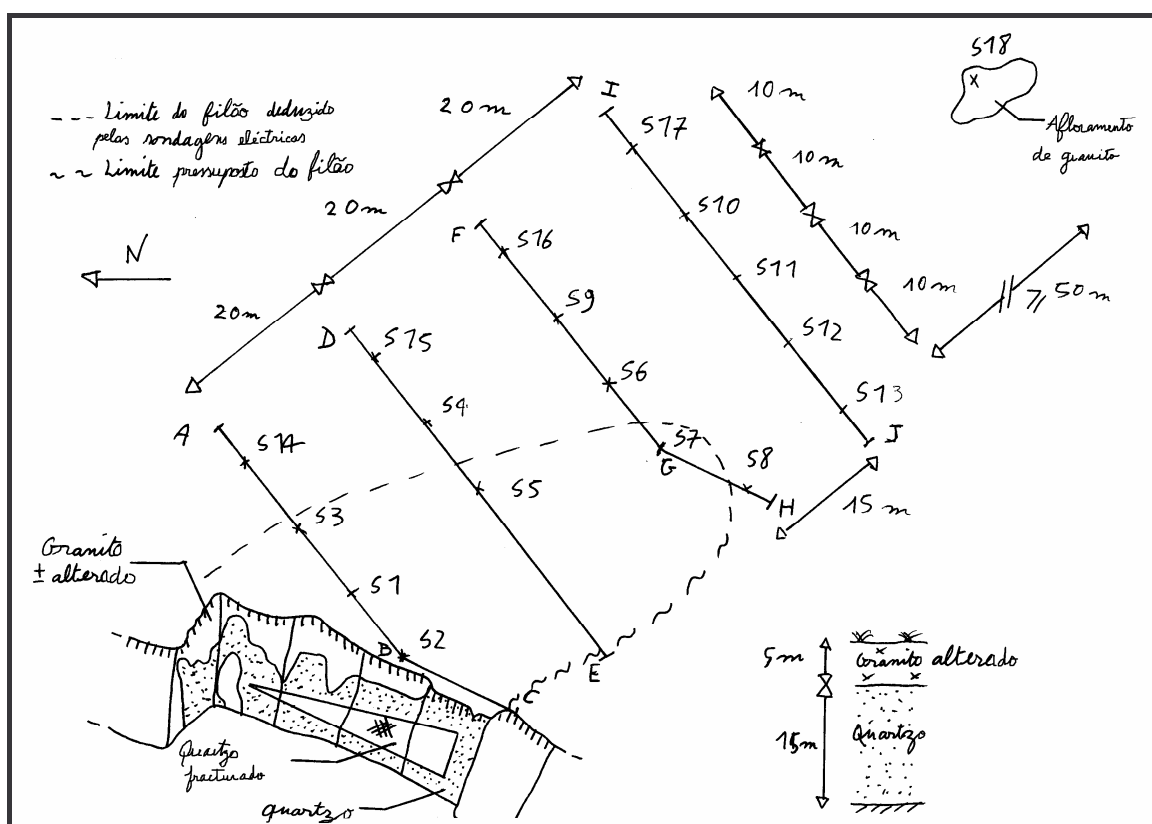


Fig. 22- Esquema de implantação das sondagens eléctricas em Seixos Alvos

Como se pode observar na representação esquemática, é visível na antiga frente de desmonte uma cobertura de granito com cerca de 5 metros de espessura que assenta numa massa de quartzo com 15 metros de altura.

As medições e curvas das sondagens eléctricas constam do anexo 1B. Sobre as referidas curvas é possível distinguir quatro famílias de resistividade, com os seguintes valores:

- Resistividades superiores a 5000 Ωm , que deverá corresponder ao granito.
- Resistividades compreendidas entre 2000 Ωm e 3000 Ωm , que corresponde ao quartzo.
- Resistividades compreendidas entre 700 Ωm e 1500 Ωm , que corresponde ao granito alterado.
- Resistividades compreendidas entre 200 Ωm e 300 Ωm , que corresponde a um granito muito alterado ou outra rocha de resistividade menor.

Os perfis de sondagem transversais ao filão evidenciam o respectivo fecho a Norte e a Este, e com as sondagens eléctricas verticais foi possível delimitar o depósito de quartzo, como se pode verificar na figura 22, marcado a tracejado.

As reservas foram calculadas em cerca de 17000 toneladas de quartzo.

5

***EXTRACÇÃO E TECNOLOGIAS DE
TRATAMENTO***

5. EXTRACÇÃO E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

5.1 Extracção mineira

A natureza das formações nas quais o quartzo e o feldspato ocorrem (em massas ou formações lenticulares, como foi referido), conduz a explorações realizadas a céu aberto, com frentes geralmente baixas (na ordem das poucas dezenas de metros) e de pequena extensão, razão pela qual estes depósitos apenas permitem minas em pequena escala.

Relativamente à extracção do quartzo são utilizados equipamentos de perfuração pneumática ou hidráulica, explosivos e cápsulas convencionais, enquanto que para o feldspato também se pode utilizar desmonte mecânico.

O método de rebentamento alternativo é frequentemente usado, com rebentamento inicial no quartzo e seguidamente na zona do feldspato, permitindo assim um método de extracção selectivo.

As figuras 23 e 24 ilustram o tipo de exploração e os equipamentos habitualmente utilizados nas operações de perfuração, desmonte e carga do material extraído.



Fig. 23- Equipamento de perfuração



Fig. 24- Equipamentos de escavação, carga, e transporte de material extraído

Devido às dimensões dos depósitos, que não encorajam grandes investimentos, ou ao conceito conservativo dos métodos, de facto nas explorações mineiras de quartzo/feldspato não está divulgado o uso de perfuradoras para maiores profundidades. Contudo, actualmente já se verifica a utilização de “suspensões” no rebentamento e formas de ignição mais modernas, que permitem custos de desmonte substancialmente mais baixos, em alternativa aos explosivos tradicionais como a gelamonite ou amonite.

Todavia, não deixa de se verificar que uma forte componente dos custos de extracção de quartzo e feldspato assenta na mão-de-obra utilizada nas operações mineiras e na selecção do produto final.

Em Portugal, numa mina de quartzo e feldspato, de média dimensão, os custos de mão-de-obra chegam a atingir cerca de 50 a 60% dos custos totais, como consequência, em geral, das características dos depósitos pegmatíticos portugueses (fig. 25).

Efectivamente, e mesmo tendo em conta um certo grau de selectividade na operação mineira, assim como uma razoável diferenciação entre quartzo, feldspato e presença de mica, entre outros, impõe-se uma operação de selecção que, no nosso país, ainda actualmente constitui uma tarefa inteiramente manual.



Fig. 25- Escolha manual de quartzo (à esquerda) e escolha manual de quartzo (1ª e 2ª qualidades), feldspato potássico e sódico (à direita)

Estas operações não consistem apenas na separação do quartzo e feldspato. Elas são bem mais selectivas pois permitem a separação do produto em diferentes qualidades tais como:

- Quartzo de 1ª qualidade (fig. 26):



Fig. 26- Quartzo de 1ª qualidade em pedra (à esquerda) e granulados de quartzo de 1ª qualidade (à direita)

- Quartzo de 2ª qualidade (fig. 27):



Fig. 27- Quartzo de 2ª qualidade para a produção de silício metal e ferro-silício

- Feldspato potássico de 1ª e 2ª qualidades (Fig. 28):



Fig. 28- Feldspato potássico de 1ª qualidade (à esquerda) e 2ª qualidade (à direita)

- Feldspato sódico (fig. 29):

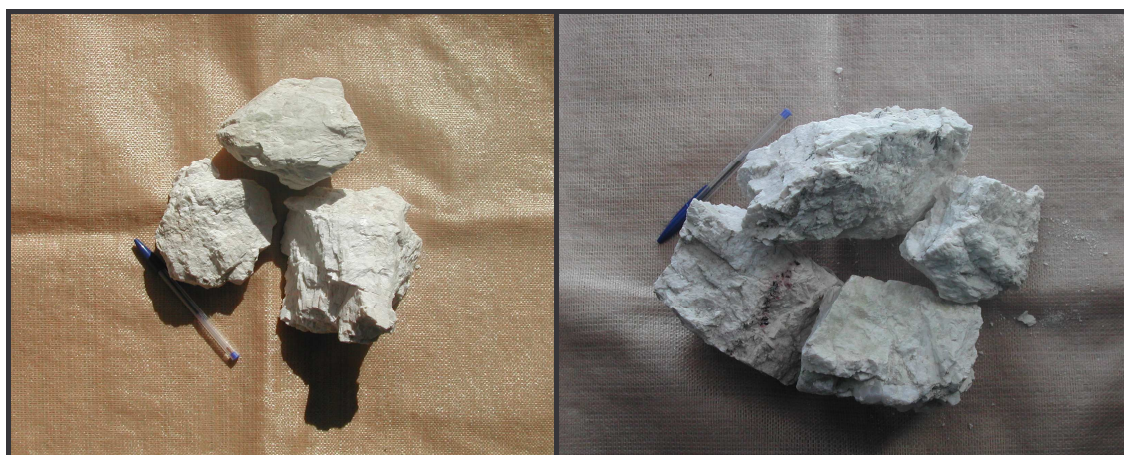


Fig. 29- Feldspato sódico de 1ª qualidade (à esquerda) e 2ª qualidade (à direita)

5.2 Tecnologia de tratamento

5.2.1 Quartzo

No desmonte em mina obtém-se quartzo cuja dimensão varia de escassos centímetros a blocos que podem atingir cerca de 100 cm, tornando-se necessárias operações de britagem e de classificação.

Uma vez seleccionado o quartzo com as características químicas pretendidas e após o desmonte na mina, impõe-se dotá-lo das características granulométricas necessárias às diferentes aplicações industriais, pelo que se realiza uma primeira britagem, denominada primária, realizada imediatamente sobre o minério em bruto, tal qual foi extraído da mina, em cujo desmonte deverá ter sido considerada a dimensão dos blocos a obter, por forma a permitir um transporte fácil e, também, a entrada na abertura de alimentação do primeiro britador (fig. 30).



Fig. 30- Representação, em corte, de um dos tipos de britador utilizado em instalações de britagem de quartzo (Svedala, 1996).

Os processos de tratamento das diversas matérias-primas à base de sílica são variados e seleccionados sempre em função das características da matéria-prima, com a finalidade de obter um produto final de elevado grau de pureza, geralmente à custa da redução do teor em ferro.

A operação de britagem tem como objectivo levar os blocos de minério extraído a dimensões de britas, aptas a poderem submeter-se a subsequentes estágios de trituração, ter uma utilização imediata ou permitir que sobre elas sejam praticadas operações de concentração.

A fragmentação de grandes blocos por meio de explosivos (“block holling”), ou mais recentemente com martelos hidráulicos acoplados às retroescavadoras utilizadas na carga dos materiais desmontados, e as britagens manuais (com auxílio de marretas ou martelos demolidores sobre blocos isolados com dimensão superior à entrada do primeiro triturador), as reduções de calibre são realizadas mecanicamente em britadores.

O processo de fragmentação é semelhante na maioria dos tipos de britadores, consistindo no esmagamento por compressão dos fragmentos entre duas peças, uma das quais fixa e outra móvel.

A selecção do tipo de britadores a utilizar faz-se com base em critérios, os quais devem ter em conta as dimensões dos produtos a britar e a amplitude do movimento das peças fragmentadoras na zona de descarga, tendo também em conta a capacidade requerida, a plasticidade do material ou a sua aptidão a provocar engasgamentos durante a trituração.

A operação de classificação realiza-se com o intuito de conduzir à divisão de um conjunto de partículas em lotes, de forma a garantir que os produtos obtidos de cada um dos lotes a formar possuam características granulométricas comuns.

A classificação por calibragem, estabelecida com base num critério geométrico efectua-se através do lançamento do produto a classificar sobre uma superfície provida de orifícios de dimensões e forma conhecidas, de molde a produzir lotes caracterizados por possuírem partículas cujo calibre se situa entre o valor das aberturas da superfície que atravessam e o valor das aberturas da superfície que as reteve.

Embora possa parecer que não se trata de uma operação com importância, por não apresentar uma localização rígida nos diagramas de tratamento, a classificação

deve ser considerada como uma operação primordial da preparação de minérios, pois desempenha funções principais na beneficiação de alguns minerais.

A figura 31 apresenta um classificador geométrico (crivo vibratório), utilizado industrialmente no tratamento de minério quando se pretendem calibres de corte superiores a um milímetro.



Fig. 31- Representação de um dos tipos de crivo vibratório utilizado em instalações de britagem de quartzo (Svedala, 1996).

Uma proposta de diagrama de britagem de quartzo, par fins metalúrgicos (produção de Si ou Fe-Si) e simultâneo aproveitamento dos produtos de quartzo granulado é representado na figura 32.

Todavia, os quartzos extraídos actualmente têm outras aplicações para além das tradicionais (metalurgia, cerâmica e vidro), entre as quais se destacam a produção de diversos produtos químicos à base de silício, o que implica a utilização de novas tecnologias no tratamento e maior selectividade nas operações de desmonte.

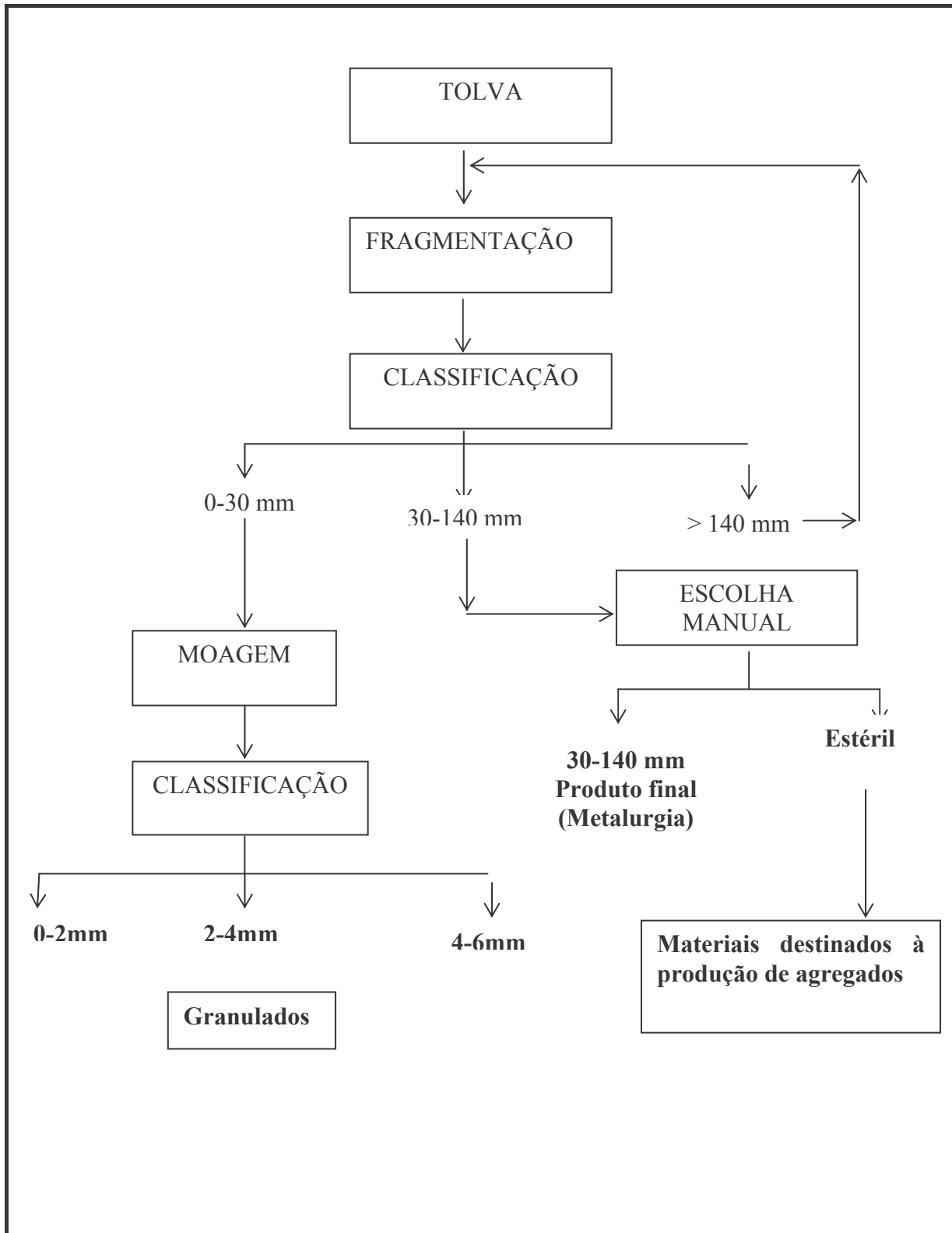


Fig. 32 - Representação de diagrama de operações na britagem de quartzo para fins metalúrgicos e outras aplicações.

Dado que surgiram novos mercados onde o quartzo também pode ser aplicado, embora com granulometrias mais finas, é possível aproveitar o lote de granulometria 0-30mm (até ao momento rejeitado pela metalurgia), para aplicações tais como as indústrias cerâmica e de aglomerados à base de resina (se este lote for submetido a escolha manual e posterior moagem).

Também no sector da construção civil, o referido lote pode ser aplicado como granulado em revestimentos de cobertura de edifícios, agregado em painéis de betão projectado e agregado para betão polimerizado a utilizar em locais sujeitos a ataques ácidos, aplicações essas que não exigem pureza química (fig. 33).



Fig. 33- Lote de brita de quartzo para aplicação na construção civil

O objectivo principal da beneficiação, quando se trata de quartzo do tipo cristal de rocha, consiste na obtenção de um elevado grau de pureza, com valores de SiO_2 , Fe (total) e Al_2O_3 no ordem de 99,9%, 0,001% e 0,01%, respectivamente, alcançado quando os cristais individuais de quartzo são aparados manualmente, com o intuito de remover as capas exteriores onde normalmente se encontram alojadas a grande maioria das impurezas.

Em seguida, na respectiva cominuição evita-se a contaminação com metais (de placas de britadores, placas de revestimentos, barras, bolas, entre outros) dos

equipamentos habitualmente empregues (por exemplo, moinhos), e calcina-se o quartzo a 900/1000°C, introduzindo-o seguidamente em água fria.

Aquela prática leva os cristais de quartzo a reduzirem-se à dimensão de um grão de areia, que será em seguida fundido. O quartzo de filão ou de pegmatito tem a composição média constante no quadro 4.

Quadro 4 – Composição química média do quartzo de filão e pegmatito (dados em %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe total
99,5	0,2	0,01

A fragmentação do quartzo faz-se em britadores de maxilas, sendo seguidamente crivado e tratado quimicamente com ácido clorídrico. Depois de retirada a solução sobrenadante, o quartzo é seco e limpo de minerais ferrosos presentes através de separação magnética. Finalmente o quartzo é moído a calibre inferior a 0,25 mm, podendo atingir a composição média constante no quadro 5.

Quadro 5- Composição química média do quartzo obtido por separação magnética (dados em %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe total	Na ₂ O	K ₂ O
99,7	0,2	0,0015	0,02	0,02

5.2.2 Feldspato

Nos pegmatitos a separação dos feldspatos realiza-se com relativa facilidade, no entanto, na exploração das massas aplíticas essa separação reveste-se de alguma dificuldade, dado que o produto final a obter consiste de uma mistura de feldspato e quartzo. Contudo, a extracção dos feldspatos provenientes de depósitos pegmatíticos ou aplíticos realiza-se a céu aberto e com auxílio a explosivos.

O feldspato é submetido a operações de fragmentação, classificação e moagem, de forma a dotá-lo de características granulométricas que permitam a aplicação de processos de purificação, processos esses que apenas se apresentam eficientes para granulometrias muito finas.

Obviamente, o diagrama de tratamento deverá ser projectado em função das impurezas presentes no feldspato, nomeadamente o teor em ferro e a quantidade de micas, verificando-se actualmente uma tendência para colocar no mercado os produtos que já possuam as características químicas adequadas e apenas necessitem de reduções de granulometria, obtendo deste modo custos de produção substancialmente inferiores.

Este facto explica as diferenças encontradas, por exemplo, nos diagramas de tratamento de feldspatos provenientes da exploração de pegmatitos e dos aplitos, já que neste último o produto final a obter é uma mistura de feldspato e quartzo em proporções tais que não interfiram no processo adoptado pelos consumidores.

Genericamente, o que se pretende no tratamento dos feldspatos não é mais do que a respectiva purificação, ou seja, enriquecimento do feldspato e eliminação dos minerais feríferos, a qual pode ser alcançada através da separação magnética e flutuação, tal como se representa na figura 34.

Mais recentemente, algumas instalações de beneficiação submetem o material extraído a reduções de granulometria que culminam com uma moagem fina, à qual se segue uma separação electromagnética de alta intensidade de campo, com o objectivo principal de separar micas, quartzo e outros materiais associados ao feldspato.

Relativamente aos feldspatos potássico e sódico a separação pode efectuar-se através do processo de flutuação, no qual o feldspato é activado com ácido fluorídrico, utilizando um colector orgânico e “fuel-oil” como estabilizadores.

Existe ainda a possibilidade de tratamento de areias de escombreira resultantes de antigas explorações de estanho e volframite.

Estas areias são levadas a calibres inferiores a 2mm e, posteriormente, submetidas a separação magnética, prática esta utilizada por uma empresa nacional, ainda em actividade.

Assim, essas areias de escombreiras podem ser beneficiadas, com auxílio de separação magnética, dotando-as de teores em Fe_2O_3 bastante menos limitadores, em termos de aplicação industrial, relativamente ao material tal qual.

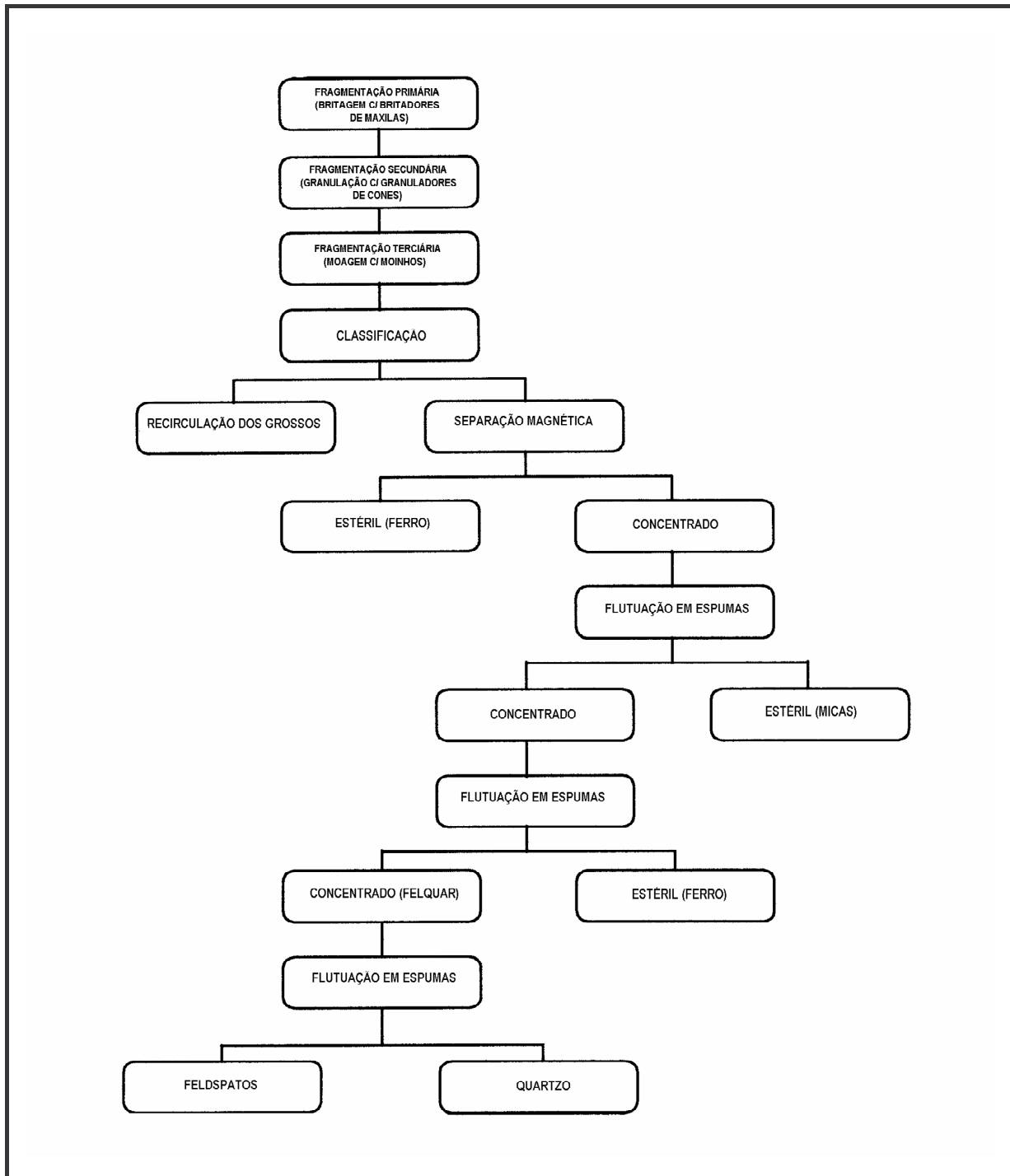


Fig. 34- Diagrama de operações para tratamento de materiais feldspáticos com origem em depósitos aplíticos.

Apresentam-se, na figura 35, os valores de Fe_2O_3 obtidos após a beneficiação dessas areias de escombreira, quando submetidas a separação magnética de alta intensidade de campo e operando, em média, com 12 000 Gauss. O rendimento ponderal da separação magnética chega a atingir valores da ordem dos 90 %.

As areias utilizadas apresentam teores de humidade da ordem dos 0,5 %, e foram levadas à granulometria 0/1 mm.


Material “tal qual”				Material beneficiado	
SiO ₂	72,04			SiO ₂	72,23
Al ₂ O ₃	15,26			Al ₂ O ₃	14,95
Fe ₂ O ₃	0,54			Fe ₂ O ₃	0,32
K ₂ O	3,74			K ₂ O	3,60
Na ₂ O	4,74			Na ₂ O	4,86
CaO	0,68			CaO	0,73

Fig. 35- Redução de Fe₂O₃ com auxílio da separação megnética em areias de escombreira (dados em %)

Quando a extracção se faz a partir de um corpo rochoso, este deve ser objecto de um estudo profundo no que concerne às respectivas características.

A proporção de feldspatos nele presente não deve ser inferior a 50% e o teor em Fe₂O₃ e substâncias corantes deve ser muito baixo, em função da qualidade dos produtos finais a obter, inferiores a 1% ou entre 0,1% e 0,08%, para produtos menos e mais nobres, respectivamente, como é referido por Karl Thöbe (1996).

Relativamente ao feldspato extraído de um corpo rochoso e depois de colocado na humidade e granulometria adequadas, também é possível obter resultados satisfatórios ao submetê-lo a um processo de beneficiação, por separação magnética, conforme se demonstra na figura 36.

Tal como no caso anteriormente referido, trata-se de um processo de separação magnética de alta intensidade de campo e operando, em média, com 12 000 Gauss.

Material “tal qual”		Material beneficiado	
SiO ₂	72,29	SiO ₂	74,16
Al ₂ O ₃	15,12	Al ₂ O ₃	14,42
Fe ₂ O ₃	0,68	Fe ₂ O ₃	0,39
K ₂ O	4,51	K ₂ O	4,34
Na ₂ O	4,05	Na ₂ O	4,06
CaO	0,42	CaO	0,40



Fig. 36- Redução de Fe₂O₃ com auxílio da separação megnética em corpos rochosos (dados em %)

Na exploração de feldspatos a partir dos pegmatitos, a selecção do feldspato ainda é actualmente realizada através da selecção manual, baseada em diagnose empírica, pois o feldspato-K é geralmente rosado, processo este utilizado no depósito de Vidago (fig. 37) e em alguns depósitos pegmatíticos situados na Beira Interior.



Fig. 37- Mina de Vidago- escolha manual de feldspato K

Para caracterização tecnológica e beneficiação das arcoses deverão realizar-se estudos mineralógicos e de libertação, que conduzam à determinação dos principais minerais penalizantes.

Contudo, os processos de purificação a adoptar na respectiva beneficiação são os tradicionalmente empregues, isto é, a separação magnética e a flutuação, nas respectivas variantes.

5.2.2.1 Separação magnética

Este processo baseia-se nas propriedades magnéticas dos minerais, conduzindo à respectiva separação, e é bastante utilizado no tratamento dos feldspatos, nomeadamente em empresas nacionais.

A acção combinada de forças de um campo magnético e forças magnéticas provocam trajectórias diferenciadas dos grãos minerais que atravessam esse campo magnético, obtendo-se desse modo a respectiva separação.

A figura 38 ilustra a referida separação, para a qual pode contribuir a acção da gravidade, a força centrífuga, o arrastamento pela água, o atrito ou outros tipos de forças. O campo magnético criado afecta as partículas minerais, função da respectiva permeabilidade magnética³, ou seja, da maior ou menor facilidade com que se deixam induzir pelas propriedades magnéticas quando introduzidas num campo magnético, ou se deixam atravessar pelas linhas de força desse campo.

A separação magnética utiliza-se na concentração de minerais e remoção de partículas magnetizáveis em suspensão num fluido. Este método depende do comportamento dos diferentes minerais sob a influência duma força magnética, os quais podem sofrer atracção, repulsão ou nenhuma influência. Os minerais podem classificar-se de paramagnéticos⁴, ferromagnéticos⁵ e diamagnéticos⁶.

Os minerais paramagnéticos são atraídos na direcção da alta intensidade de campo, o que na maioria dos casos se traduz no arrastamento do fluxo de partículas no sentido da

³ Num ponto de um campo magnético de intensidade H criado no vazio a unidade de superfície normal a H será atravessada por H linhas de força. Se em vez do vazio o campo magnético for criado num outro meio, as condições magnéticas são alteradas e a unidade de superfície será agora atravessada, em vez de H , por μH linhas de força, em que representa uma constante característica da substância que constitui o meio e designada por permeabilidade magnética do meio ou da substância.

⁴ Caracterizados por apresentar permeabilidade magnética superior a 1 e susceptibilidade magnética superior a 0.

⁵ Exibem permeabilidade magnética elevada, para além da permeabilidade e susceptibilidade magnéticas variarem com a intensidade de campo.

⁶ Apresentam permeabilidade magnética inferior a 1 e susceptibilidade magnética inferior a 0.

superfície magnética, pelo que as partículas podem ser concentradas por processos de alta intensidade magnética.

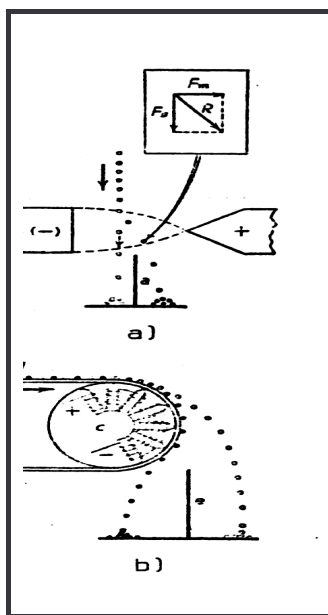


Fig. 38- Separação magnética: a) com auxílio de força mecânica (gravidade); b) com auxílio de força centrífuga.

As partículas minerais classificadas de ferromagnéticas são atraídas do mesmo modo que as anteriores, e podem ser fortemente magnetizadas por um campo magnético exterior baixo. A repulsão acontece sobre as partículas diamagnéticas e na direcção da intensidade de campo mais baixa, com forças envolvidas menores.

A capacidade de um ímã provocar o arrastamento de uma partícula não depende unicamente da intensidade de campo, mas também do gradiente de campo, ou seja, na razão de crescimento da intensidade de campo na direcção da superfície do magneto. Os minerais paramagnéticos exibem maior permeabilidade magnética que o fluido circundante (água ou ar) e concentram as linhas de força de um campo magnético externo.

Sob o ponto de vista industrial, a separação magnética é utilizada em minerais paramagnéticos, em particular os que contêm ferro, pois nestes é possível desenvolverem-se forças magnéticas elevadas.

Os separadores magnéticos estão concebidos para assegurar um gradiente de campo magnético, tanto no intervalo dos pólos de um circuito magnético como na proximidade de uma superfície magnetizada, tal como um magneto permanente. O efeito de um gradiente de campo consiste em induzir um forte magnetismo a um dos pólos, pelo que as partículas

experimentam uma força de translação que as empurra na direcção da intensidade de campo crescente. Os gradientes de campo podem obter-se com a utilização de lâminas magnéticas e não magnéticas.

A colocação de elementos ferromagnéticos num campo magnético, a funcionar como pólos secundários, criam um número de regiões de separação com efectivos gradientes de campo. A forma e orientação dos elementos ferromagnéticos determinam o grau de magnetização e o gradiente de intensidade de campo junto das respectivas superfícies.

Para tornar as separações magnéticas possíveis é necessário que a partícula se situe o mais próximo possível de um dos pólos, pelo que a força a exercer sobre uma partícula de pequena dimensão, com determinada susceptibilidade e permeabilidade magnéticas, introduzida num campo magnético com dada intensidade é normal às superfícies de igual intensidade de campo, com direcção segundo a qual a intensidade de campo varia mais rapidamente⁷.

Assim, as massas polares devem apresentar perfis diferentes, pois o campo magnético não deve ser uniforme para garantir que as forças magnéticas se manifestam sobre partículas nele introduzidas (fig. 39).

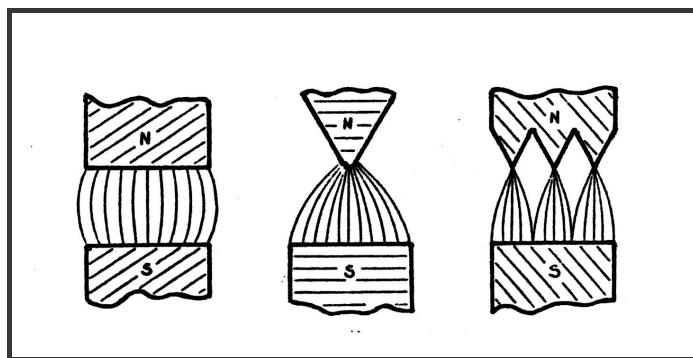


Fig. 39- Tipos de perfil das massas polares

Ou seja, sob o ponto de vista industrial, é importante que os separadores magnéticos permitam regular a distância das partículas ao pólo de atracção e a intensidade de campo, assim como, apresentar reduzida distância interpolar sempre que o objectivo é a

⁷ Quando se pretende aumentar o valor da força a exercer sobre uma partícula é necessário aumentar a intensidade do campo e a respectiva convergência.

separação de partículas de baixa permeabilidade, do mesmo modo que devem permitir a possibilidade de se produzirem campos magnéticos intensos, com auxílio de electroímans.

São suficientes induções da ordem dos 1000 Gauss para concentrar partículas fortemente magnéticas, separando-as e partículas não ou fracamente magnéticas, ao contrário do que sucede com a separação de partículas fracamente magnéticas, que obriga a induções entre 15000 e 20000 Gauss.

É vulgar as separações magnéticas se classificarem de baixa intensidade de campo e alta intensidade de campo⁸. Dado que a separação magnética se aplica em condições distintas, função da permeabilidade magnética dos minerais em presença, genericamente admite-se que as separações se podem processar com ímanes permanentes ou electroímans, para separações de baixa intensidade e de alta intensidade de campo, respectivamente.

Muito embora todas as espécies minerais apresentem propriedades magnéticas em maior ou menor grau é usual, tendo em vista a possibilidade de operar separações entre os minerais por processos magnéticos⁹, classificá-los em fortemente magnéticos¹⁰, fracamente magnéticos¹¹ e não magnéticos¹², sendo estes últimos os mais frequentes na natureza.

A eficiência da aplicação deste método, separação magnética, apresenta limitações tal como sucede com outros métodos, nomeadamente os calibres superior e inferior das partículas a atravessar o campo magnético.

Assim, o calibre limite superior das partículas será tanto mais elevado quanto maior for a permeabilidade magnética da substância a separar, em oposição às partículas fracamente magnéticas, dado que estas exigem elevadas intensidades de campo e uma forte

⁸ A separação magnética de baixa intensidade de campo opera em campos cuja indução é de cerca de 1000 Gauss, ou inferior, aplicada na concentração de minerais fortemente magnéticos.

A separação magnética classifica-se de alta intensidade de campo quando se processa sob campos magnéticos com induções entre 15000 e 20000 Gauss, sobre minerais fracamente magnéticos.

⁹ Consideram-se susceptíveis de separação magnética, em termos industriais, substâncias que apresentem relações de permeabilidade magnética de 10 a 5:1, a comprovar com ensaios prévios. Estes ensaios são fundamentais, pois podem verificar-se variações devidas à presença de impurezas (partículas mistas), por se tratar de minerais de uma série isomorfa ou com eixos diferentes de anisotropia, por variações de permeabilidade função de intensidade de campo magnético e do próprio calibre da partícula.

¹⁰ Magnetite, ilmenite, etc., segundo classificação prática de E. W. Davis (Cerveira, 1974-1975)

¹¹ Pirrotite, siderite, volframite, hematite, limonite, segundo classificação prática de E. W. Davis (Cerveira, 1974-1975).

¹² Pirite, rútilo, dolomite, ortoclase, calcite, apatite, quartzo, segundo classificação prática de E. W. Davis (Cerveira, 1974-1975).

convergência, apenas possíveis sob pequenas distâncias interpolares e massas polares com perfis específicos. O limite inferior de calibre de separação eficiente é função de forças mecânicas, entre as quais se destacam a adesão, o atrito e o arrastamento, e deve ser bem determinado para assegurar o mínimo possível de perdas em “finos”.

Nas separações magnéticas as trajectórias diferenciais pretendidas, obtêm-se pela oposição de diferentes forças como as resultantes do peso próprio das partículas, centrífuga e resistência ao arrastamento às forças magnéticas exercidas sobre as partículas.

Um aspecto importante em processos contínuos é a velocidade com que as partículas atravessam o equipamento de separação. Na figura 40 apresenta-se uma classificação dos vários processos de separação magnética.

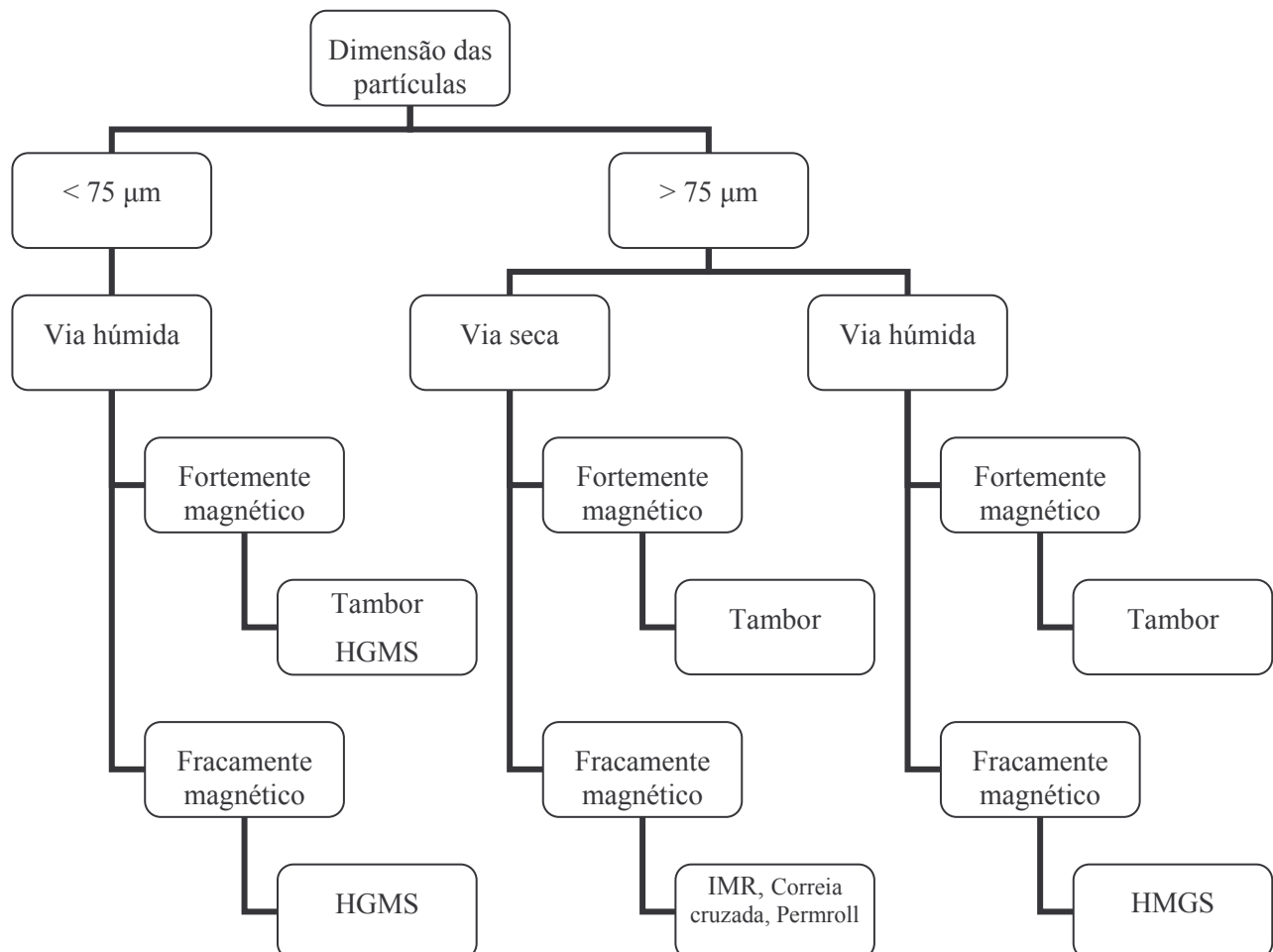


Fig. 40 - Classificação dos processos de separação magnética

Há várias técnicas de separação:

Separação magnética de baixa intensidade (via seca)

Uma das formas mais comuns consiste nos separadores de tambor de baixa intensidade, que tipicamente contêm entre três e dez magnetos de polaridade alternada, com arranjo radial e que cobrem cerca de 180° de tambor, que inicialmente eram electromagnetes mas mais recentemente foram substituídos por magnetos permanentes.

A cobertura do tambor é não magnética e este funciona a uma velocidade de cerca de 40 rpm. O material é alimentado junto à parte superior do tambor e separado como se representa esquematicamente na figura seguinte.

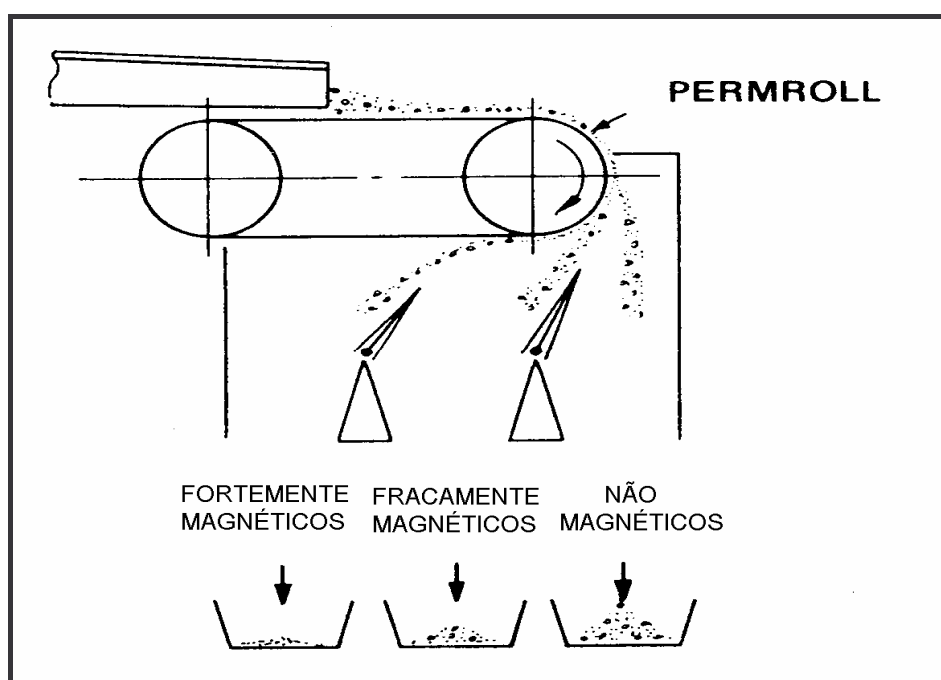


Fig. 41- Funcionamento de um separador magnético de marca Permroll

A polaridade alternada ajuda na rotação das partículas magnéticas e liberta as não magnéticas. Os diâmetros destes tambores variam entre 300 mm e 1500 mm, e podem ter comprimentos que vão dos 300 mm aos 4000 mm. A eficiência do tambor de um separador magnético de baixa intensidade (via seca) pode ser controlada pelos seguintes parâmetros:

- Campo magnético na superfície do tambor
- Espaço angular entre os magnetos
- Raio do tambor
- Velocidade de rotação

Os valores de indução magnética radial variam de 0,1 a 0,5 Tesla¹³, na superfície do tambor. A separação magnética de baixa intensidade (via seca) aplica-se principalmente em areias grosseiras fortemente magnéticas, com diâmetros entre 5 e 8 mm.

Para diâmetros inferiores a 5 mm utilizam-se métodos de baixa intensidade (via húmida) para reduzir as perdas (pó) e assegurar um produto mais limpo. Ímanes sobre tela ou suspensos podem ser utilizados para remover pequenos fragmentos de metal que acompanhem o produto.

Separação magnética de baixa intensidade (via húmida)

Trata-se do processo empregue sobre minerais fortemente magnéticos, com tambores cujo diâmetro varia entre 600 e 1200 mm, e com comprimentos da ordem dos 3 metros. Há 3 tipos fundamentais de separação magnética de baixa intensidade (via húmida), que são:

- Co-corrente – é quase exclusivamente aplicado no tratamento de partículas com diâmetro de 5 mm ou inferior. As partículas são arrastadas pelo tambor, quando a respectiva direcção de deslocamento coincide com o sentido de rotação do tambor, e conduzidas a uma saída onde são comprimidas e libertadas da água antes de deixarem o separador. As partículas magnéticas são retiradas pela influência do tambor e as não magnéticas são descarregadas pelo fundo do tanque.
- Contra-corrente – aplica-se a partículas de diâmetro igual ou inferior a 100 µm que se deslocam no sentido contrário ao da rotação do tambor quando deixam o tanque. Partículas mais grosseiras causam problemas por tenderem a depositar no fundo do tanque. A alimentação faz-se junto ao fundo do tambor e são por ele arrastadas para cima, agitadas por jactos de água e descarregadas pelo lado oposto do tanque. Este método assegura uma boa recuperação do material magnético e um concentrado de elevada qualidade.

¹³ Tesla = 10⁴ Gauss

- Contra-rotação - aplica-se a partículas de diâmetro igual ou inferior a 1 mm, que se deslocam em sentido contrário ao do movimento de tambor. A qualidade dos concentrados resultantes é inferior.

Separação magnética de alta intensidade (via seca)

Os tipos básicos de separadores magnéticos de alta intensidade (via seca) são:

- Rolos de indução – utilizam-se habitualmente para partículas com diâmetros entre 2 mm e 100 μm , mas também pode processar partículas de diâmetro inferior a 75 μm . Os rolos têm diâmetros entre 100 e 150 mm e comprimentos da ordem dos 1000 mm. Utilizam intensidades magnéticas até 2,2 Tesla, dependendo da distância entre o pólo e a superfície do rolo. Cada rolo funciona com uma indução magnética superior à do rolo que o precede, e o processo tem capacidade para tratar 2 a 3 t/h por metro linear de rolo, podendo funcionar em dois ou três estágios, com caleiros interiores que conduzem o material a submeter a novo tratamento entre o rolo superior e o rolo inferior. São muito utilizados para remover as contaminações ferríferas no feldspato para a indústria cerâmica.
- Correia cruzada – trata-se de uma concepção já antiga. O material é colocado sobre a correia transportadora para formar uma camada uniforme e é conduzido sob discos rotativos ou outra correia colocados perpendicularmente à correia que transporta o material. O material magnético é atraído para o alto gradiente magnético nos bordos dos discos ou para a parte inferior da correia colocada transversalmente, sendo posteriormente descarregado em caleiros colocados ao longo do transportador, e os materiais não magnéticos são transportados até ao final da correia transportadora onde é colocado o material da alimentação.
- Separadores magnéticos permanentes – existem vários modelos nesta variante, mas a principal diferença entre os separadores magnéticos e os sistemas magnéticos permanentes consiste na possibilidade de tratar materiais com granulometrias superiores.

Separação magnética de alta intensidade (via húmida)

Esta pode ser dividida em dois tipos, um que funciona com um filtro estático numa base cíclica e outro com uma matriz rotativa a operar em contínuo (dos tipos circuito magnético convencional e circuito solenóide), cujas aplicações se encontram representadas na figura 42.

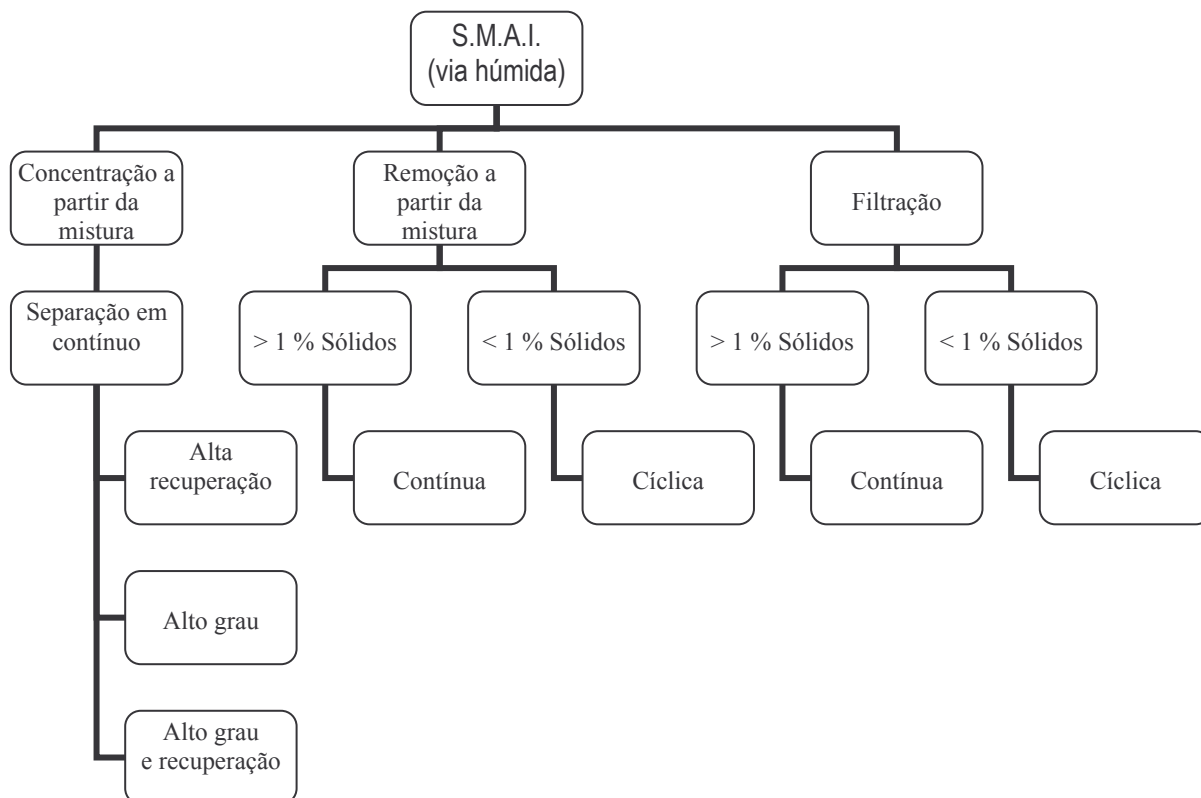


Fig. 42- Aplicação da S.M.A.I. (Separação magnética de alta intensidade de campo) - via húmida.

Podem referir-se, ainda, os ímanes supercondutores (de construção similar à de um solenóide, mas sem núcleo de ferro, que podem gerar campos até 10 Tesla e que precisam ser arrefecidos a temperaturas muito baixas) e os separadores magnéticos de gradiente aberto, que incluem um tambor separador, quatro-pólos, um separador multi-pólo linear.

Algumas das amostras estudadas neste trabalho foram submetidas a separação magnética de alta intensidade de campo, por via seca, cujos resultados estão indicados nas figuras 35 e 36.

5.2.2.2 Flutuação

A flutuação tira partido das propriedades físicas e químicas da superfície dos diferentes minerais e aplica-se a partículas de muito pequena dimensão, baseando-se na adesão selectiva ao ar (aerofilia) de algumas espécies minerais e na simultânea adesão à água (hidrofilia), de outras.

Este processo promove ou activa a flutuabilidade de certas espécies minerais, ao contrário de outras em que tal não acontece, tanto porque essa aptidão foi anulada ou invertida. Trata-se, portanto, de um processo físico-químico que, perante a adição de certos reagentes e em pequenas quantidades, torna possível reforçar ou inverter a flutuabilidade de certas espécies minerais.

Há duas modalidades principais deste método, a flutuação integral e a flutuação selectiva. A primeira consiste em separar das gangas várias espécies minerais, enquanto a segunda permite que as diferentes espécies minerais a separar da ganga sejam flutuabilizadas separadamente umas das outras.

Sob o ponto de vista tecnológico a modalidade utilizada é a flutuação em espumas, na qual a separação se realiza à custa de bolhas gasosas que carreiam até à superfície da polpa as partículas que a elas aderem, formando um leito de espumas mineralizadas que flutua sobre a polpa.

Este processo apresenta como vantagens as elevadas recuperações e concentrados de elevado teor, com aplicabilidade à maior parte dos minerais, e como inconvenientes a obrigação de submeter os materiais a fragmentações intensas e ao uso de reagentes, que tornam os custos de produção mais elevados.

Os reagentes utilizados podem classificar-se em várias categorias, de acordo com a respectiva finalidade: espumantes, colectores, depressores, activadores, reguladores, desactivadores, revivificadores e molhantes.

As figuras 43 e 44 mostram alguns destes equipamentos actualmente comercializados. Neste tipo de equipamento a alimentação faz-se pela parte superior e o ar pode ser introduzido interiormente ou exteriormente através de um gerador de bolhas. As bolhas assim formadas sobem ao longo da polpa e contactam com os sólidos, em movimento descendente, numa zona designada de captação.

Após a adesão às bolhas de ar, a fracção mineralizada atinge a área onde está colocada a alimentação da coluna e atravessa um fluxo descendente de água de limpeza, designando-se esta zona como zona de lavagem.

Este tipo de colunas, ao concentrarem na mesma unidade as zonas de captação e limpeza, são reconhecidamente mais eficazes na produção de concentrados de qualidade superior quando comparados com os circuitos convencionais de flutuação. A eliminação da agitação mecânica conduz a menor turbulência e proporciona um melhor ambiente para a flutuação de partículas grosseiras e finas.

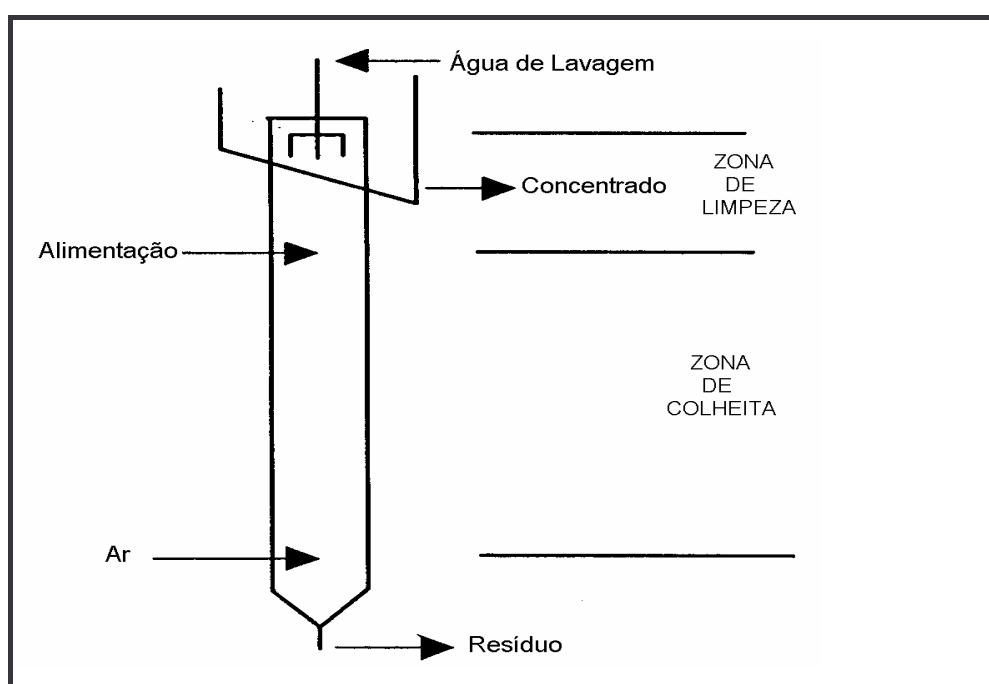


Fig. 43- Representação esquemática de uma célula de flutuação (adaptado de Skillen, 1993)

Nas células do tipo Jameson (fig. 44- esquerda) o ar e alimentação são introduzidos pela parte superior do equipamento e descem através de um tubo colocado no centro da célula. A alimentação faz-se sob a forma de polpa pelo interior do referido tubo, misturando-se com o ar, criando deste modo condições de adesão excelentes que permitem a descida suave do líquido e a ascensão das bolhas de ar.

O sistema EKOF (fig. 44- direita) constitui um outro tipo de equipamento, no qual a suspensão das partículas, o transporte da polpa e a formação de pequenas bolhas de ar se realiza em várias unidades colocadas em linha desempenhando cada uma um papel específico que pode ser otimizado de modo independente.

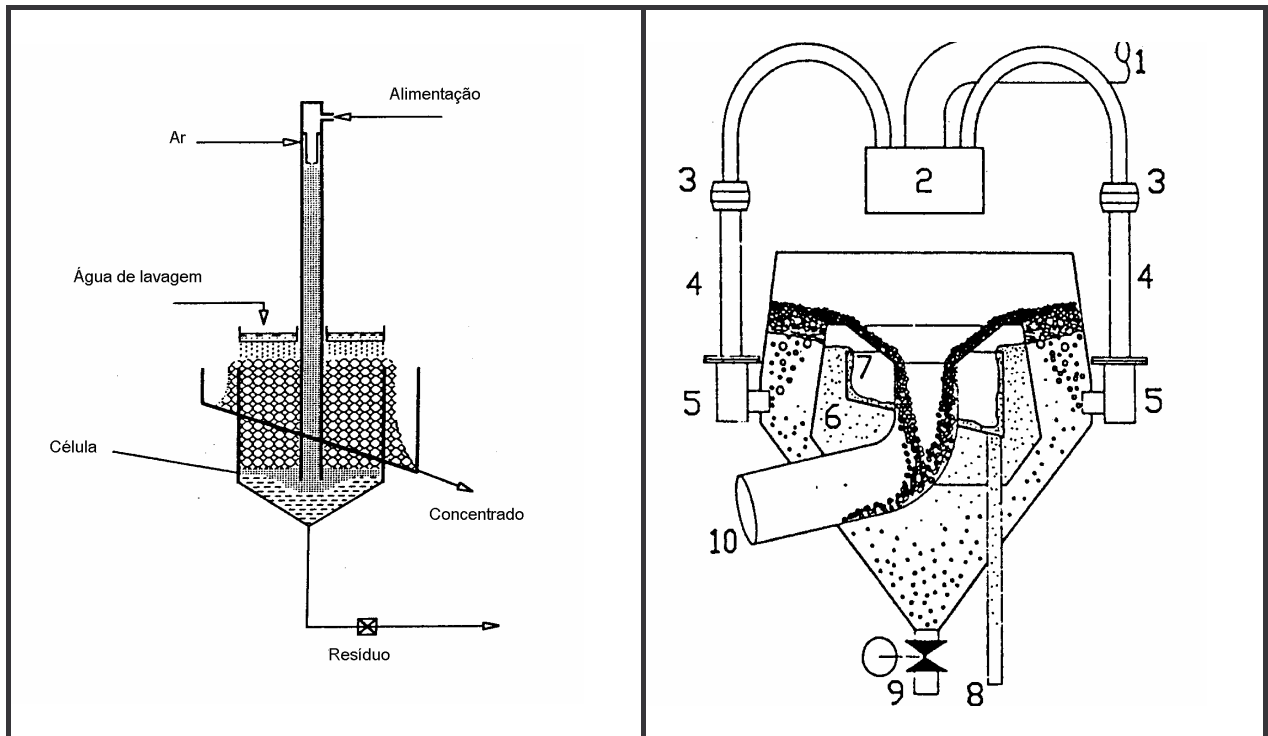


Fig. 44- Células de flutuação: Representação esquemática de uma célula Jameson; Secção de uma células EKOF (à direita) - 1 alimentação; 2 distribuidor; 3 gaseificador; 4 tubo espassador; 5 canal liso; 6 separador; 7 represa interior; 8 resíduo fino; 9 resíduo grosseiro; 10 concentrado (adaptado de Skillen, 1993)

Em seguida, nas figuras 45 e 46, apresentam-se alguns diagramas de tratamento susceptíveis de serem utilizados na purificação de materiais feldspáticos, com operações de flutuação e separação magnética, ou apenas reduções de calibre (quando se trate de materiais com pureza química adequada).

A indústria cerâmica, na sua vertente transformadora, tem como objectivo assegurar a qualidade e diversidade de produtos aceites no mercado, com base em critérios de ordem estética e física, os quais estão fortemente dependentes da eficácia das matérias-primas utilizadas no processo produtivo.

A diversidade de corpos geológicos a partir dos quais se extraem matérias-primas para utilização na indústria cerâmica são passíveis de variação mineralógico-estrutural, quer lateral quer verticalmente, pelo que é extremamente importante desenvolver metodologias que conduzam à adequação das matérias-primas a utilizar no processo produtivo com vista à concretização dos referidos objectivos.

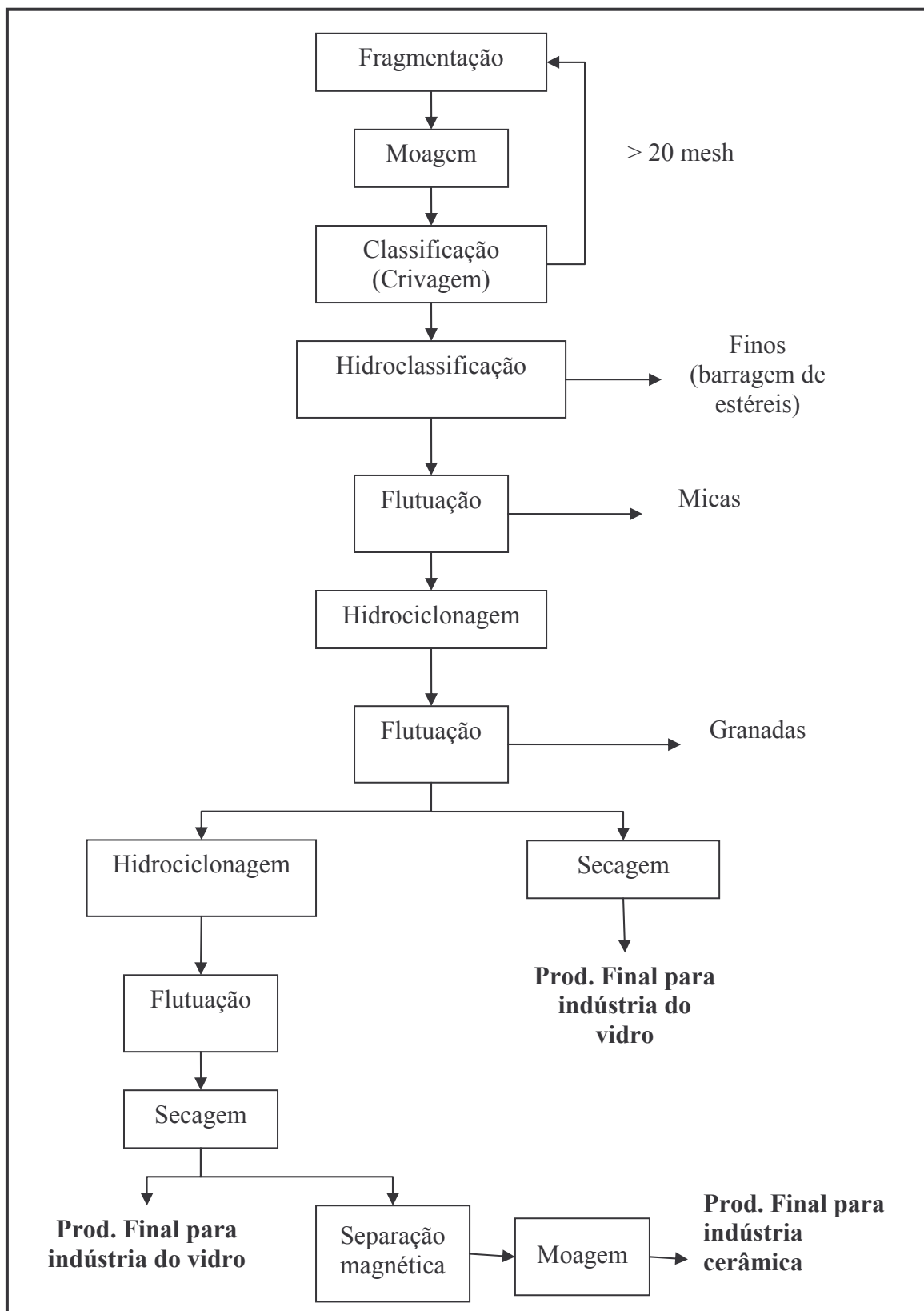


Fig. 45- Diagrama de tratamento tipo com operações de flutuação e separação magnética

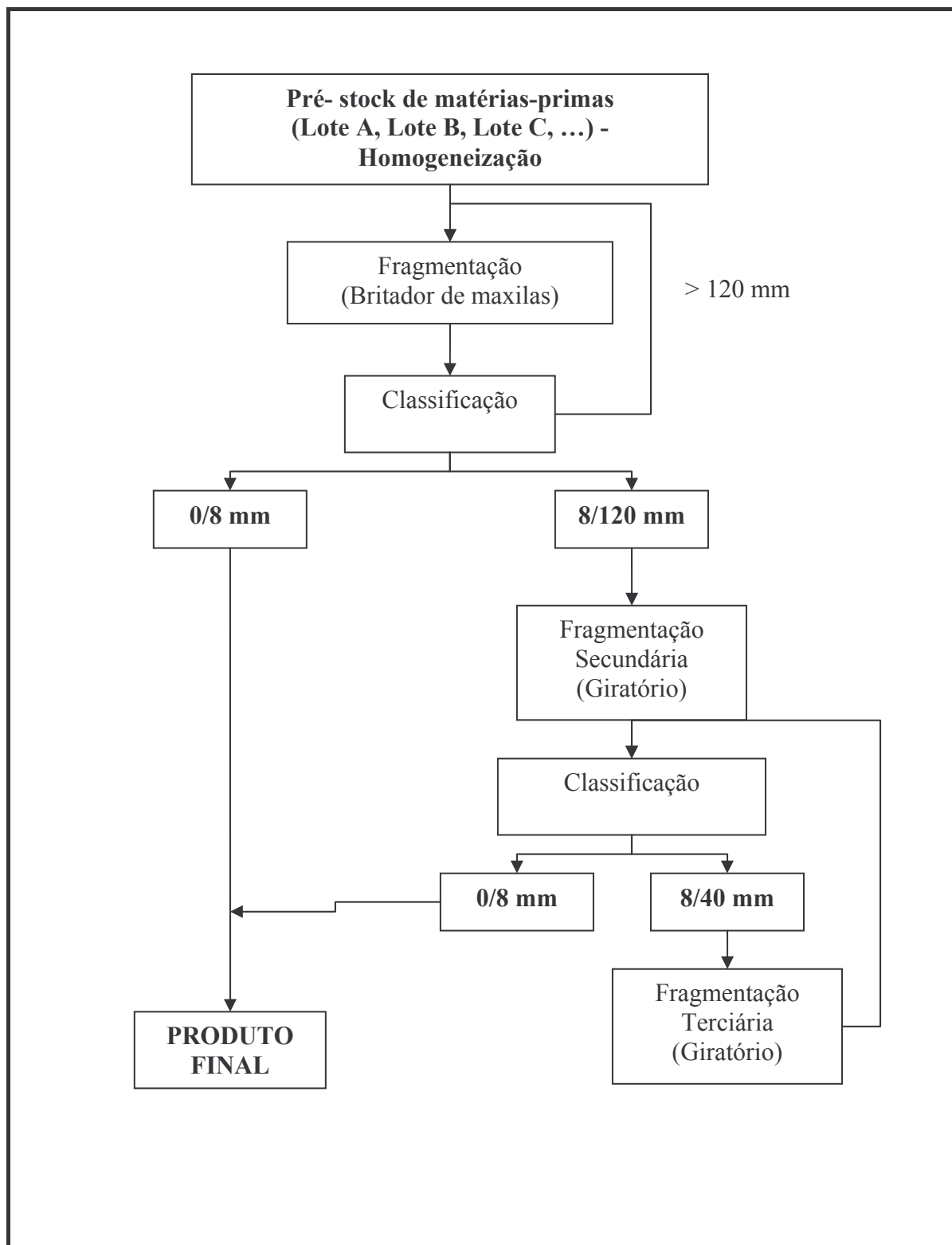


Fig. 46- Diagrama de tratamento tipo com operações de fragmentação e classificação.

O diagrama proposto na figura 46 contempla a operação de homogeneização entendida como fundamental para assegurar uma conveniente adequação entre o sector

extractivo e a indústria transformadora, no intuito de dar resposta plena às exigências de mercado.

A homogeneização das matérias-primas, actualmente colocada em prática pela maioria dos produtores, contrubui fortemente para uma boa gestão geológica dos jazigos minerais e permite à indústria transformadora disponibilizar produtos especificados com níveis de exigência de qualidade compatíveis aos produtos a que dão origem.

A figura 47 apresenta uma metodologia susceptível de assegurar a adequação imprescindível entre o sector extractivo e a indústria cerâmica, com o objectivo de garantir a manutenção dos padrões de qualidade dos produtos a colocar no mercado.

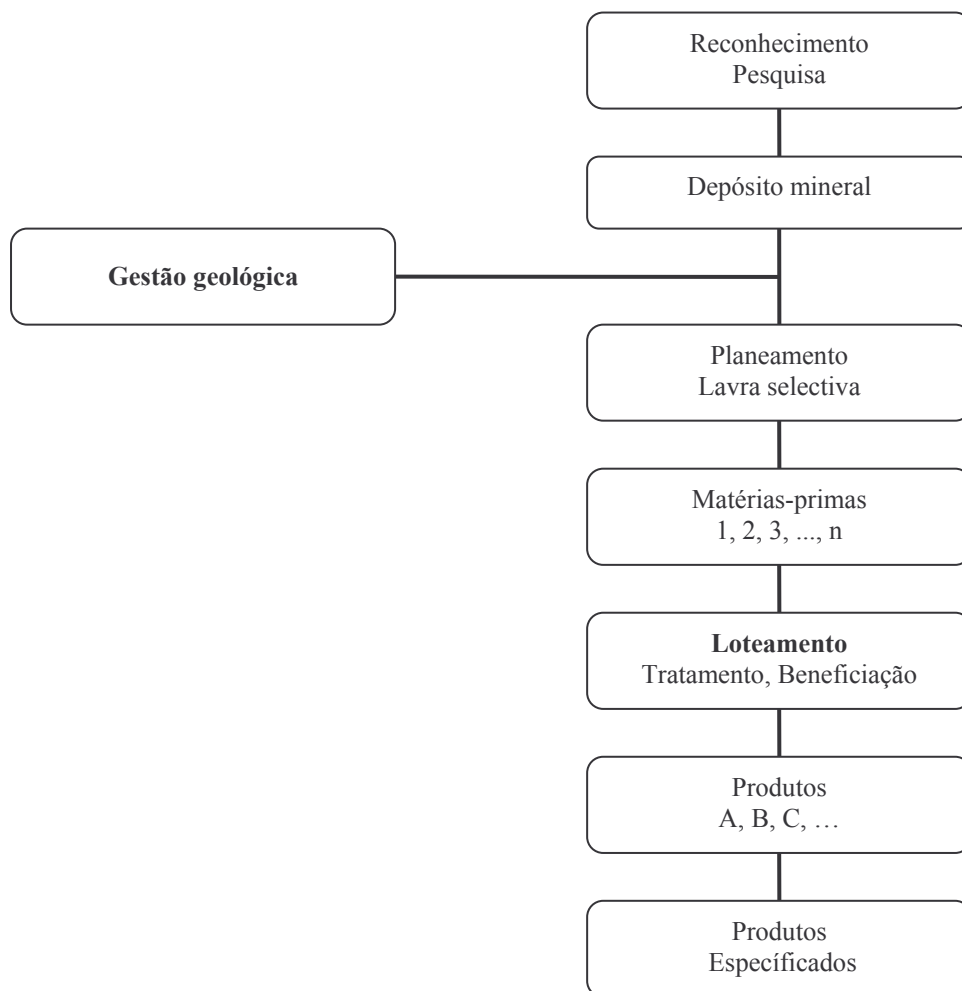


Fig. 47 – Metodologia de adequação entre os sectores extractivo e cerâmico

6. APLICAÇÕES DO QUARTZO E DO FELDSPATO

6.1 Aplicações do quartzo

O quartzo assume particular importância como matéria-prima para diversos sectores industriais, designadamente no da cerâmica, da metalurgia, dos abrasivos, dos refractários e da electrónica, como uma das principais fontes de silício.

Quando colocado no mercado o quartzo surge com as designações comerciais de quartzo de 1ª (Tipo I) e 2ª (Tipo II) qualidades, e caracteriza-se pelos seguintes aspectos:

Quartzo de 1ª qualidade

- Exportado já britado para outras aplicações.
- A maior percentagem é exportada para Inglaterra, Irlanda, Bélgica e Holanda, onde o quartzo britado a diferentes calibres é usado para cobertura de placas, abrasivos, e painéis ornamentais para a construção.
- Produzido em diferentes granulometrias, desde 0,3 mm a 50 mm, e as dimensões menores (granulados) são consumidos nas indústrias do vidro, cerâmica, química e tintas.
- Normalmente apresenta cor branca ou rosa e tem baixo teor em alumina e óxidos de ferro o que significa teores de Fe_2O_3 inferiores a 0,05% e de Al_2O_3 menores que 0,1%.

Quartzo de 2ª qualidade

- Apresenta cor branca, algumas vezes acinzentada e pode comportar algumas impregnações de óxidos de ferro, que lhe conferem uma coloração acastanhada.

O grau de fracturação do corpo pegmatítico afecta o interesse económico dos jazigos, pelo facto de facilitar as impregnações de óxidos de ferro, que se processa através das fracturas, depositando-se à superfície do quartzo, com formação de finas películas ou carapaças que chegam a atingir mais de um centímetro de espessura e

pela respectiva disseminação, de que pode resultar um grau de contaminação superior ao normalmente permitido.

As operações de britagem realizadas sobre o quartzo e a lavagem efectuada nas operações de classificação eliminam as impregnações de óxidos de ferro, visíveis sob a forma de camadas finas superficiais, frequentes nos depósitos pegmatíticos. O teor de Fe_2O_3 não é normalmente superior a 0,1%.

A contaminação do quartzo é mais acentuada na zona intermédia dos corpos pegmatíticos, devido à associação de quartzo-feldspato-mica, sendo a alumina com teores médios entre 0,15% e 0,2%, uma das principais contaminações, resultando fundamentalmente da presença dos feldspatos e mica. Este tipo de quartzo é normalmente utilizado na indústria de silício metal.

São várias as funções do quartzo e matérias-primas afins nas massas e produtos cerâmicos, designadamente como carga, agente refractário e formador principal (ex: indústria do vidro). As indústrias química, electrónica e de energia solar são os outros utilizadores do silício. A indústria electrónica consome cerca de 0,5% do silício produzido, mas os semicondutores exigem silício puro (teor em impurezas < 10 ppm).

A qualidade de quartzo mais apurada, isenta de impurezas e totalmente incolor ou de cor branca, destina-se essencialmente à indústria óptica

6.1.1 Metalurgia

A indústria metalúrgica utiliza 80-90% do Si produzido sob as formas: Si, Fe-Si, Al-Si, Ca-Si. O silício é produzido num forno de arco eléctrico submerso de 25 MVA de acordo com a reacção:



Como reacções secundárias são de considerar as seguintes:



As fontes de carbono necessárias ao processo são o coque de petróleo, hulha, carvão vegetal ou estilha de madeira e como matérias-primas usadas na produção de silíciometal, ferrosilício e haletos de silício apontam-se o quartzito britado, aglomerados de novaculite, quartzo arredondado, seixos de quartzito (de depósitos fluviais) e arenitos conglomeráticos, para forno eléctrico.

O quartzito é, em algumas circunstâncias, preferido por muitos dos produtores ainda que os teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 tendam a ser mais elevados, isto porque o quartzo filoneano é mais quebradiço e, conseqüentemente, gera excesso de finos durante o manuseamento, para além de conter inclusões fluidas que provocam pequenas explosões quando submetido às altas temperaturas dos fornos.

É importante que a rocha siliciosa seja dura se aplicada na metalúrgia, não friável, deverá ter elevada resistência ao choque térmico e isento de finos quando é usado, não devendo também decrepitar ou fraccionar-se em finos quando aquecido.

Em fornos de arco eléctrico submerso não são admissíveis os finos porque reduzem a porosidade da carga eléctrica e provocam o bloqueio do fluxo de gases, assim como a fusão prematura e a formação de crosta, originando uma estruturação do gás e a produção de um sopro que desliga o forno.

Os referidos sopros são libertações súbitas de gás, que contêm CO e SiO, pelo que produzem uma perda de silício e conseqüente diminuição de eficiência.

Novaculite de elevada pureza também tem sido utilizada na produção de silíciometal e ferrosilício, mas os finos que gera, criam quando aquecidos uma espuma que se vai acumulando, obrigando ao fecho do forno para limpeza periódica, o que significa custos por paragem.

Produção de silíciometal

- Pretende-se quartzo ou quartzito com grão de diâmetro superior a 2,54 cm, com um ponto de amolecimento mínimo de 1700° C e que não decrepite a temperaturas inferiores a 950° C.
- As dimensões das pedras (“lumps”) devem situar-se entre 1,27 cm e 10,16 cm ou 12,7 cm de diâmetro médio.

- A rocha deve conter pelo menos 98,5% ou 99% de SiO_2 (tipicamente de 99,3% a 99,8% de SiO_2) e valores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO e MgO menores que 0,1%, 0,15%, 0,2% e 0,2%, respectivamente.
- As perdas por ignição (P.R.) deverão ser inferiores a 0,2%, dado que este valor é directamente proporcional à tendência da rocha para decrepitar quando aquecida. O Fe_2O_3 e o CaO são impurezas especialmente críticas para as qualidades de silício metalúrgico.
- Algumas qualidades de siliciometal requerem matérias-primas com teores inferiores a: 0,05% de Fe_2O_3 , 0,10% de Al_2O_3 , 0,005% de CaO e 0,002% de TiO_2 .

Produção de ferro-silício

- A rocha siliciosa deve possuir dimensão entre 0,32 cm e 10,16 cm de diâmetro, com a dimensão a variar em proporção directa com o teor de silício do halogeneto a produzir.
- A rocha deverá conter mais de 96% de SiO_2 , mas preferencialmente mais de 98%, Al_2O_3 menor que 0,4%, sendo usualmente menor que 0,25% e Fe_2O_3 menor que 0,2%.
- A percentagem de Al_2O_3 presente influencia o consumo de energia eléctrica durante a fusão, o qual poderá atingir 40% a 45% dos custos de produção.
- O teor de enxofre na rocha deverá ser muito baixo, mas o teor de fósforo pode atingir 0,1%. Os teores de ferro e carbono não são tão importantes quanto os teores de alumina, álcalis e metais terrosos alcalinos.
- Alguns produtores nos EUA aceitam teores máximos de 0,03% de Fe_2O_3 , 0,20% de Al_2O_3 , 0,01% de CaO e 0,02% de TiO_2 .

Produção de silício para a indústria química

- Utiliza-se rocha siliciosa que deve apresentar alta reactividade e baixo teor em alumina.

- A rocha não deve conter fósforo, enxofre ou arsénico como impurezas, as quais são particularmente indesejadas pelo facto de produzirem gases venenosos no forno.
- Na produção de silicones a percentagem de TiO_2 presente não deve ser elevada.
- Como características químicas do quartzo, necessárias à respectiva utilização na indústria química, indica-se: 99,0% (mínimo) de SiO_2 ; 0,1% de Fe_2O_3 (máximo); 0,2% (máximo) de Al_2O_3 ; 0,1% de CaO (máximo); 0,1% MgO (máximo) e 0,02% (máximo) de TiO_2 .

Produção de silício manganês

- A rocha siliciosa não necessita ser tão pura como nos casos anteriores (75% de Si, 35% de Mn).

Produção de carboneto de silício

- É colocado um leito de rocha siliciosa no fundo do forno, com diâmetro superior a 2,5 cm e inferior a 10 cm, através do qual o gás é extraído, filtrado e limpo.
- Os granulados de origem fluvial, arredondados, são preferidos, pois permitem uma compactação solta, constituindo assim um leito mais permeável.

Carga para alto-forno e fornos de fornalha aberta utilizados no fabrico de aço

- Usam-se seixos de rio, crivados e lavados.
- Os calibres devem ser superiores a 0,6 cm e inferiores a 1,6 cm ou superiores a 0,8 cm e inferiores a 2,54 cm, contendo mais de 99% de silício e usualmente existentes, localmente, a baixo custo.

Produção do elemento fosforoso em fornos eléctricos

- Usa-se quartzo “lump” de calibre superior a 0,3 cm e inferior a 2,5 cm ou seixo de quartzo proveniente de depósitos fluviais, de calibres compreendidos entre 0,6 e 3,2 cm.

- O quartzo ou quartzito habitualmente usados nesta aplicação devem conter mais de 90% de SiO_2 , menos de 1,5% de Al_2O_3 , 1,5% de Fe_2O_3 e 0,2% de CaO e MgO combinados.

Para a produção de Si e Fe-Si, apontam-se no quadro 6 as respectivas quantidades de quartzo a utilizar para a obtenção de uma tonelada de produto final.

Quadro 6 - Consumo de quartzo para produção de uma tonelada de Si e FeSi

Aplicação	Quartzo utilizado (ton) / ton de produto final	Qualidade
Silíciometal	2,6-3,5	99,7%
Ferrosilício 50	1,05-1,1	50%
Ferrosilício 75	1,7-2,0	75%
Ferrosilício 90	2,3-2,5	90%

6.1.2 Indústria electrónica e óptica

Só a partir de 1918 foram descobertas as propriedades do cristal de quartzo que o tornam aplicável às comunicações de rádio e, desde então, verificou-se uma melhoria das técnicas de processamento de quartzo cristal natural que envolveu novas tecnologias. Contudo, os novos processos continuam a envolver quartzo cristal, embora agora se trate de um produto fabricado e não extraído em mina.

A indústria electrónica e óptica consome os cristais naturais com maior dimensão e com padrões de qualidade rigorosos, embora os componentes ópticos em menor escala. Outros cristais de menor dimensão e fragmentos foram usados para produzir sílica vítrea.

Duas das características importantes do quartzo são:

- O efeito dieléctrico - não conduz uma corrente eléctrica mas que permite a existência e a interacção de campos eléctricos através dele.
- O efeito piezoeléctrico - que lhe confere a capacidade de se deixar carregar negativamente numa superfície e positivamente noutra, oposta, quando uma

placa de quartzo é deformada mecanicamente contra a sua natural resistência à flexão.

Quando a placa é libertada rapidamente da tensão que lhe havia sido aplicada as cargas desaparecem á medida que readquire a forma original, mas devido ao momento mecânico dá-se a deformação da placa em sentido oposto (agora com menor intensidade) e as superfícies correspondentes adquirem novamente carga na direcção oposta.

Através de um revestimento fino de ambas as superfícies com metal e ligando-as a arames flexíveis, aquelas cargas podem tornar-se circuitos electrónicos.

O efeito piezoeléctrico invertido conduz à deformação de uma placa em cujas superfícies tenha sido aplicada uma carga eléctrica instantânea devido ao movimento de uma corrente ao longo dos arames.

Tal situação extrapolada para um fluxo de corrente alterna, leva a admitir o surgimento de uma oscilação mecânica quando aquele tipo de corrente atravessa os arames, o que permite uma variação de frequência da vibração mecânica num largo espectro, através do controle da espessura da placa.

Os principais segmentos da indústria de quartzo cristal são essencialmente três:

- Quartzo cristal natural (extraído em mina e aplicável no fabrico de unidades piezoeléctricas);
- “Lasca” (quartzo extraído em mina usado como matéria prima na produção de quartzo de cultura-sintético);
- Quartzo de cultura (produzido de “lascas” pelo processo de crescimento de cristais em autoclave sob determinadas condições de temperatura, pressão e tempo).

As características do quartzo para ser aplicado em electrónica e óptica:

- Os cristais de quartzo para essa aplicação devem ter peso compreendido entre 50 g e 100 g;

- A qualidade de cristal piezoelétrico deve conter pelo menos 16,4 cm³ de material sem qualquer defeito.
- Mesmo um cristal perfeito não será susceptível de aplicação se apresentar espectro, fissuras, bolhas de inclusões líquidas, fibras de rútilo ou incrustações de outros minerais

Nas aplicações como nutriente em culturas de crescimento (sintéticas) de cristais de quartzo podem ser utilizados:

- Pedacos de cristal de quartzo com pesos entre 10 g e 30 g;
- Material com acabamento defeituoso das qualidades de quartzo cristal piezoelétrico, desde que os respectivos teores de ferro e alumina sejam suficientemente baixos;
- Para o crescimento de cristais pode usar-se um nutriente que contenha menos de 50 ppm (total) de impurezas, muito embora o material que contenha entre 50 e 100 ppm de impurezas também possa ser usado em aplicações de menor exigência;
- Os contaminantes mais importantes são o ferro e alumina, porque eles determinam a quantidade de sódio e lítio indesejável que entra no cristal durante o processo de crescimento.

Nas qualidades não piezoelétricas podem utilizar-se:

- Fragmentos de quartzo ultrapuro com peso entre 10 g e 30 g podem ser fundidos e utilizados para fibras ópticas (varas e tubulação), óptica de precisão e modelos electro-ópticos, prismas, tubos de lâmpadas especiais, cadinhos para semicondutores electrónicos e aplicações laboratoriais do tipo ensaio de desgaste.

Para produção de quartzo fusível (sílica vítrea ou vidro de quartzo) exigem-se:

- Produtos transparentes, que contenham menos de 30 ppm (0,0030%) de total de impurezas, o que significa um teor de sílica de pelo menos 99,997%.

- A pureza em sílica exigida na produção de vidro de quartzo fusível opaco é 99,8% versus 99,97%, para produtos translúcidos.

O quadro 7 apresenta os valores médios da quantidade de matéria-prima necessária para a produção de uma tonelada de quartzo sintético e sílica vítrea.

Quadro 7 - Consumo de matéria prima para produção de um quilograma de quartzo sintético e sílica vítrea

Aplicações	Matéria-prima (kg) utilizada / kg de produto final a obter
<i>Electrónica e óptica</i>	
Quartzo sintético	1,3 - 1,4 (“lascas”)
Sílica vítrea	1 - 3 (quartzo)

6.1.3 Indústria Cerâmica

No sector cerâmico o quartzo é incorporado fundamentalmente nos produtos designados de cerâmicos tradicionais, ou seja, no tijolo, na telha, no azulejo, no mosaico e na porcelana, por constituir um excelente componente refractário devido ao seu elevado ponto de fusão, e em alguns dos produtos cerâmicos avançados, na forma de compostos simples como o carboneto de silício (SiC).

No quadro 8 apresentam-se as formulações frequentemente utilizadas em porcelana:

Quadro 8 – Percentagens de quartzo utilizadas nos diversos tipos de porcelana

Tipos de porcelanas	(%) Quartzo
Porcelana mole	30-40
Porcelana fina (louça de mesa)	12-35
Porcelana artística	20-32
Porcelana sanitária	24-45
Porcelana química técnica	10-15
Porcelana eléctrica	22-40

6.1.4 Indústria de abrasivos

Para uso como abrasivo em moinhos de pulverização e equipamentos de desagregação são normalmente utilizados com essa finalidade:

- o quartzito, o seixo, o jaspe e a novaculite.

Para esta aplicação industrial devem apresentar:

- alta resistência á compressão, peso específico alto, elevada tenacidade, durabilidade elevada, alto grau de pureza, homogeneidade, dureza, resistência à contaminação, resistência à fractura, resistência à lascagem e à alta temperatura.

Outras características que a rocha deve exibir são a baixa porosidade e não deverá conter substâncias tóxicas ou colorações escuras resultantes de impurezas metálicas, tais como ferro e manganês, e deve apresentar forte cimentação e ser quimicamente inerte quando na presença de álcalis e ácidos fortes.

A forma e a dimensão dos grãos constituintes, assim como a respectiva clivagem e fractura, são igualmente importantes. O “meio” deverá ter forma arredondada e de dimensionamento apertado, assim como deverá produzir um pulverizado branco quando friccionado (por atrito).

Os meios de moagem de alta densidade são preferenciais, dado o maior poder de impacto e força de moagem, o que significa menor volume de moinho necessário, para um dado volume de carga ou permitindo ainda uma moagem mais rápida, a ser obtida sem redução de carga do “meio”. Em ambos os casos apresentados a capacidade de produção é mais elevada que em “meio” de baixa densidade.

Propriedades determinantes para a aplicação da rocha siliciosa como agente de moagem são as mesmas que determinam a aplicabilidade como revestimento em moinhos de pulverização. A novaculite e o quartzito normalmente não são aceites como agente de moagem, dado que a novaculite apresenta baixo peso específico, carácter friável e baixa resistência á fractura pelo impacto durante a moagem, e o quartzito britado também não é usualmente satisfatório para aplicações com impactos

elevados, porque a britagem pode produzir microfissuras na rocha, que a levam a partir durante o uso.

Para além da aplicação como abrasivo de desagregação, no qual é necessário um controle apertado na dimensão das partículas, de forma a minimizar a respectiva acumulação, a rocha siliciosa também é qualificada como agente de moagem e material de revestimento.

O comportamento do agente abrasivo é avaliado em termos de:

- razão de corte;
- razão de desgaste;
- eficiência de corte;
- qualidade de acabamento final na parte metálica, que deverá apresentar-se isento de riscos.

Realizam-se testes de certificação, com o intuito de avaliar sobre a estabilidade e uniformidade da relação de corte, desgaste e desenvolvimento de um fino e elevado brilho final, na parte revestida, em vibrador tipo tubo de 0,28 m³, carregados com 90,7 kg de agente de moagem e 4,5 kg de pedaços angulosos de ferro, em seguida accionado a 1800 vibrações por minuto, durante um período de 24 horas.

O factor de eficiência de corte é o “ratio” entre a razão de corte¹⁴ e a razão de desgaste¹⁵, que deverá preferencialmente ser um número elevado. A rocha deve apresentar-se com forte cimentação e suficientemente resistente, ainda que não excessivamente, de forma a não vidrar durante o uso. Grãos grosseiros moem mais rapidamente mas produzem uma superfície mais rugosa.

Uma máquina vibratória típica, de 0,57 m³, necessita, na fase de arranque, de 910 Kg de “meio” abrasivo, que deverá ser acrescentado em cerca de 23 Kg por cada dia de funcionamento.

¹⁴ A razão de corte corresponde à percentagem de metal removido, em peso.

¹⁵ A razão de desgaste ou factor de cisalhamento é a percentagem em peso, de agente perdido como finos não recicláveis.

6.1.5 Torres e tanques para ácido

Blocos de arenito e quartzito utilizados em revestimento de tanques de ácido, torres e caixas de colectores são resistentes aos ácidos sulfúricos e clorídrico, mas não aos ácidos fluorídricos e fosfórico a alta temperatura.

Os blocos devem ter boa resistência à abrasividade, tensão de compressão de 55×10^3 KPa a 70×10^3 KPa e tensão tangencial de $8,3 \times 10^3$ KPa a 9×10^3 KPa.

Seixo de quartzo e quartzito usados como “meio” de acondicionamento em torres de ácido devem ter baixa porosidade (isto é $<3\%$), uma alta tensão de corte, alto grau de coeficiente de uniformidade granulométrica e alta superfície específica por metro cúbico.

O seixo deverá ser resistente à dissolução pelo ácido sulfúrico e deverá ter um pH neutro a levemente ácido, dado que um pH de 7,5 ou superior pode causar problemas.

É exigida baixa porosidade para que isso permita uma baixa absorção de ácido e uma alta tensão de rotura, para minimizar a produção de finos que poderiam bloquear os orifícios por onde passa o gás ou qualquer outro equipamento na base da torre. O leito de seixo deve conter elevado índice de vazios por metro cúbico.

6.1.6 Pré-aquecimento de ar

Seixo quartzoso de terraços fluviais, altamente puro, é usado em três das quatro camadas que servem de “meio” de transferência de calor nas câmaras de pré-aquecimento de ar.

Seixo com diâmetro entre 12 mm e 15 mm é usado no fundo (1ª camada), o que constitui cerca de 5% do leito. Seixo entre 3 mm e 5 mm de diâmetro é usado na 2ª e 4ª camadas do leito, ocupando cerca de 70% do leito.

O seixo deve conter pelo menos 99% de SiO_2 e deve ser esférico, para que o leito tenha um volume e dimensão de vazios que garantam a adequada transferência de calor e decréscimo de pressão, dado que fragmentos angulares restringem o fluxo de ar.

O seixo também deverá apresentar condutividade térmica alta, alta capacidade de armazenamento de calor, alta eficiência térmica ($\pm 98\%$) e deverá ter granulometria apertada.

6.1.7 Filtros

Filtros de gravidade rápidos para instalações de tratamento de águas municipais são constituídos na base por seixo de quartzo de diâmetro de cerca de 2,54 cm, que vai diminuindo gradualmente até atingir 3,2 mm no topo da camada, para um total de espessura de leito de 30,5 cm a 45,7 cm.

Certas Associações, como por exemplo a American Water Works Association, apenas aceitam material não britado para ser empregue em instalações de tratamento de águas municipais, uma vez que o “meio” de filtração deve conter menos de 25% de fragmentos alongados ou do tipo plano com relações comprimento: largura de 5:1, ou mais.

Ora, a rocha britada apresenta-se com formas angulares, portanto com fragmentos alongados e planos que tendem a criar bloqueios no leito do filtro, o que faz com que possa ser rejeitada em instalações de tratamento de águas.

O seixo de quartzo de forma arredondada não bloqueia o leito, para além de garantir um índice de vazios de cerca de 35% ou 40%, tal como deve acontecer num leito de filtração.

Neste tipo de aplicação não é exigido material de elevada pureza química, mas deverá apresentar um peso específico alto, baixa solubilidade ácida, alto coeficiente de uniformidade granulométrica e uma dimensão efectiva própria para especificação de filtros.

Em instalações de filtros de percolação a rocha siliciosa com dimensão entre 3,80 cm e 11,40 cm é usada como suporte do “meio”, no qual as bactérias crescem para digestão dos efluentes brutos.

A rocha deve apresentar elevada pureza química, mas não necessariamente alta densidade. A forma deve ser angulosa, de modo a garantir elevada superfície específica.

Leitos de filtros usados na secagem de efluentes impuros, para aplicações em adubos químicos, requerem seixo silicioso com coeficiente de uniformidade granulométrica alto e uma distribuição da dimensão do grão entre 3,2 mm e 12,7 mm.

A pedra com diâmetro superior a 15,9 mm é usada em instalações de lixiviação séptica.

6.1.8 Indústria de refractários

O quartzito, pedra de quartzo e quartzo de filão usados na manufactura de produtos refractários são normalmente britados até se obterem calibres entre 0,24 cm e 3,80 cm.

Devem ter baixo teor em ferro, álcalis e fósforo, elementos estes que constituem as principais impurezas neste tipo de aplicação. A pedra deve apresentar baixa porosidade depois de atingir a temperatura de 1500° C.

Quartzitos de grão fino apresentam geralmente mais baixa porosidade do que os quartzitos de grão grosseiro, depois de fundidos.

Especificações químicas mais restritivas são ainda exigidas á novaculite quando usada na produção de vidros siliciosos especiais.

6.1.9 Outras aplicações

Para utilização como agregados em betão polimerizado, a ser carregado com 90 % de humidade, a rocha siliciosa deve ter formas angulosas e dimensões compreendidas entre 6,35 mm e 44 µm.

Surgem, actualmente, aplicações para os subprodutos obtidos nas operações de britagem de quartzo, aplicações que se devem fundamentalmente a duas razões, uma de ordem económica e outra de recuperação de um material susceptível de aplicação.

Dada a concorrência a que as empresas produtoras se encontram submetidas, torna-se extremamente importante o aproveitamento e comercialização de todos os produtos obtidos numa instalação, de forma a rentabilizar, tanto quanto possível, os equipamentos existentes e, conseqüentemente, obter baixos custos de produção.

Acresce, também, o facto de se estimar em cerca de 10 % da produção, a quantidade de quartzo retirada na operação de escolha manual, cujas características químicas excluem qualquer possibilidade de utilização desse quartzo nas aplicações tradicionais.

O quartzo resultante dessa escolha e rejeitado, é normalmente, armazenado no solo, o que para além de um impacte visual negativo acarreta um elevado custo, tanto pela utilização de equipamentos de carga e transporte na sua movimentação, como pela utilização de correias transportadoras para o colocar nos diferentes locais de armazenagem.

Os referidos produtos podem ser aplicados no sector da construção civil, nomeadamente como granulados a utilizar em revestimentos de coberturas de edifícios, agregados em painéis de betão projectado ou agregados para betão polimerizado a utilizar em locais sujeitos a ataques ácidos.

Podem, ainda, ser utilizados em agregados para construção de sub-bases de estradas e balastro de caminhos-de-ferro.

Outras aplicações, ainda menos específicas, tais como a decoração de taludes, a ornamentação de jardins, agregados para reboco de piscinas, e pavimentação de zonas pedestres ou de muito baixo tráfego rodoviário (acessos particulares a casas de habitação ou outras).

As figuras 48 a 51 ilustram algumas das utilizações do quartzo cujas características químicas não permitem a sua aplicação industrial (quartzo rejeitado na operação de selecção manual), mas apresentam características físicas adequadas para utilização em pavimentação de zonas pedestres e acessos particulares.



Fig. 48- Utilização de quartzo nas dimensões 3/6 mm



Fig. 49- Utilização de quartzo nas dimensões 8/16 mm

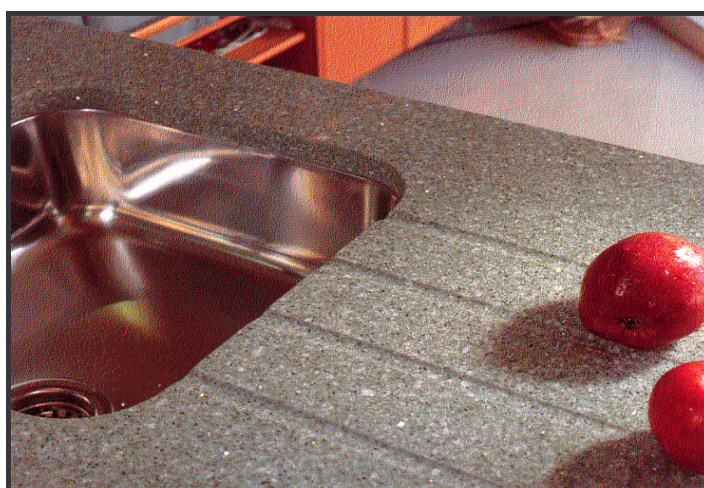


Fig. 50- Utilização de areia de quartzo na dimensão 2/4 mm



Fig. 51- Utilização de areia de quartzo na dimensão 2/4 mm

6.2 Aplicações do feldspato

Os feldspatos e os sienitos nefelínicos são utilizados em sectores muito semelhantes e repartidos pelas indústrias de vidro e cerâmica, sendo também utilizados como carga nas indústrias das tintas, plásticos, borrachas e ligantes, entre outras.

6.2.1 Indústria do vidro

Nesta indústria as matérias-primas feldspáticas utilizam-se como fonte de alumina e acessoriamente de óxido alcalino.

A quantidade de feldspatos a utilizar para uma tonelada de vidro plano é de 60 Kg a 90 Kg. Para igual peso de material o sienito nefelínico possui uma proporção superior de alumina a que se seguem o feldspato sódico e o feldspato potássico, razão pela qual as matérias-primas mais utilizadas neste tipo de indústria são o feldspato sódico e o sienito nefelínico.

A alumina dota o vidro de uma melhor estabilidade, impedindo a vitrificação e garantindo uma melhor trabalhabilidade facilitando o fabrico das embalagens de vidro nas máquinas automáticas. A alumina actua como fornecedor da matriz, reduzindo a tendência do vidro para se desvitrificar actuando como estabilizador e melhorando tanto a

durabilidade química do vidro como também a resistência física ao risco, à quebra e ao choque térmico.

O teor de alumina pode variar entre 1,5% e 2% até valores superiores a 15%, para aplicações em vidros de embalagens e certas fibras de vidro, respectivamente.

O quadro 9 compara as diferentes fontes de alumina utilizadas nos vidros cerâmicos.

Quadro 9- Comparação de fontes de alumina utilizadas nos vidros e nos cerâmicos (Burger, 1998)

Componentes químicos (%)	Sienito nefelínico	Feldspato sódico	Feldspato potássico	Aplito pobre em Fe	Escória de calumite
SiO ₂	61,40	67,54	67,04	63,71	38,8
Al ₂ O ₃	24,74	19,25	18,02	21,89	10,5
Fe ₂ O ₃	0,06	0,06	0,04	0,09	0,3
CaO	0,70	1,94	0,38	0,48	38,5
MgO	traço	traço	traço	traço	1,4
K ₂ O	4,95	4,05	12,10	2,37	0,5
Na ₂ O	9,54	6,96	2,12	5,60	0,4
Perda ao rubro	0,6	0,13	0,30	0,21	1,1

A granulometria do produto deverá ser menor que 1 mm e com um baixo teor de CaO. O quadro 10 apresenta os teores máximos de Fe₂O₃ para os diferentes tipos de vidro.

Quadro 10- Teores de Fe₂O₃ para os diferentes tipos de vidro (%)

Tipo de vidro	Fe ₂ O ₃
Vidro colorido	<1
Vidro semibranco	<0,3
Vidro branco	<0,1

Em 1998, cerca de 70% do feldspato produzido nos EUA foi aplicado na indústria do vidro. O teor em álcalis no feldspato e no sienito nefelínico actua como fundente

fazendo baixar a temperatura de fusão e, conseqüentemente, reduzindo os custos de produção.

No quadro 11 indicam-se as incorporações de feldspato nos diferentes tipos de vidro produzidos

Quadro 11- Incorporações (%) de feldspato na indústria do vidro

Tipo de vidro	Feldspato
Vidro plano	0-0,5
Lã de vidro (fibra de vidro textil)	0-0,5
Vidro de embalagem	8
Vidros especiais	11
Fibra de vidro de isolamento	18

6.2.2 Indústria Cerâmica

A selecção das matérias-primas que integram as pastas cerâmicas deve ter como critérios básicos, as propriedades requeridas aos produtos e as características inerentes ao processo de fabrico.

Como características específicas dos produtos greisificados, no processo de fabrico, apontam-se a elevada densidade aparente a seco, a elevada resistência mecânica (25 Kg/cm²), baixa perda por calcinação (6%) e fusão adequada às temperaturas de trabalho (1120°C – 1180°C) (Juan e Vilches, 1994).

As matérias-primas cerâmicas podem classificar-se em dois grupos: os plásticos (materiais argilosos) e os não plásticos (fundentes, inertes, carbonatos e talcos). As matérias-primas fundentes têm como principal função aumentar a cinética de sinterização, através da formação de uma fase líquida viscosa, adequando deste modo as características finais do produto (porosidade, contracção linear e resistência mecânica) a um ciclo de queima industrial.

Como não plásticos, os fundentes também interferem noutras etapas de fabricação, tais como a prensagem (aumentando a compacidade e o empacotamento das partículas) e a secagem (Sánchez, García e Ochandio, 1990). Assim, como características principais a

observar na selecção de um feldspato são: as fases principais, as fases secundárias (contaminantes), as impurezas e a granulometria.

No fabrico de pavimentos e revestimentos os intervalos da composição química são mais flexíveis, até porque estes produtos são sinterizados em temperaturas mais baixas utilizando quantidades de feldspato (em termos percentuais) menores do que no fabrico de porcelanas ou grés porcelanatos¹⁶.

No fabrico do grés porcelanato, os feldspatos são os principais responsáveis pelas características finais dos produtos, sendo a microclina a mais utilizada por evitar elevadas deformações no produto durante a sinterização (Fabbri, Fiori e Ravaglioli, 1989).

O fabrico de pavimentos porosos consome menores quantidades de feldspato, dado que este apenas é utilizado para a formação de uma pequena quantidade de fase vítrea, assegurando apenas a ligação entre as partículas, com o intuito de aumentar a resistência mecânica dos produtos.

Neste tipo de pavimentos, o uso de feldspatos sódicos ou misturas de feldspato potássico e sódico, é mais indicado devido aos menores valores de temperatura de amolecimento e de viscosidade da albite quando comparada com a microclina.

Depois da argila, o feldspato é o componente mais importante na formulação da pasta, dado que o feldspato funde a uma temperatura inferior à do quartzo e à da argila, rodeando as partículas destas matérias primas e unindo-as através da tensão superficial. Assim, a fusão do feldspato dissolve em primeiro lugar parte do quartzo e depois parte da metacaulinite.

Uma vez que os feldspatos potássicos promovem nos corpos cerâmicos, quando presentes em maior quantidade, a refractaridade dos materiais produzidos e os feldspatos

¹⁶ A denominação grés, na terminologia cerâmica, indica um material muito compacto, constituído por várias fases cristalinas dispersas numa matriz vítrea, enquanto porcelanato tem raiz etimológica no termo porcelana, que denomina o material cerâmico mais nobre em evidência e apreciado há séculos. O grés porcelanato é actualmente o material cerâmico para revestimento que apresenta melhores características técnicas e estéticas, quando comparado com os demais materiais cerâmicos disponíveis no mercado. Resulta de um longo processo de desenvolvimento tecnológico que permitiu o fabrico de um material constituído por fases cristalinas de elevada dureza, muito denso e não esmaltado (material polifásico). As características técnicas do grés porcelanato que mais se destacam são a resistência ao desgaste físico, os baixos valores de absorção de água, a alta resistência mecânica, a resistência ao ataque químico, a dureza superficial, a resistência ao congelamento, a resistência à compressão e o isolamento a cargas estáticas (excelente material para pavimentação de centros de cálculo, salas de cirurgia, entre outras).

sódicos se apresentam mais eficazes como fluxo, fazendo baixar o ponto de fusão, é utilizada uma combinação dos dois tipos de feldspatos.

O feldspato potássico é usado nos esmaltes cerâmicos, especialmente na porcelana eléctrica de alta voltagem, enquanto o feldspato sódico, quando usado no corpo cerâmico não favorece o módulo de rotura.

Mais recentemente verifica-se que a indústria cerâmica exige matéria-prima com maior qualidade, pelo que o teor de ferro dos feldspatos deve ser baixo, normalmente inferior a 0,1%.

Também, pelos níveis de qualidade exigidos, o material quando fundido deve dar um produto de cor uniforme e sem manchas. A granulometria requerida deve ser fina, compreendida entre 75 μ e 100 μ ou inferior, pois a temperatura de vitrificação será tanto mais baixa quanto mais fino for o feldspato.

Feldspatos alcalinos, com alta pureza mineral e química, utilizam-se em vidrados para porcelanas, pelo facto de promoverem o brilho, a transparência e pureza dos vidrados.

A alumina, introduzida sob a forma de feldspato em certos vidrados, contribui substancialmente para a respectiva dureza, resistência mecânica, térmica e química.

Tanto na indústria cerâmica como na do vidro utiliza-se, em certas situações, uma composição de feldspato e quartzo na qual, este último, pode chegar a assumir valores da ordem dos 30% (quadro 12).

Quadro 12- Conteúdo de feldspato nalguns produtos cerâmicos (%) (Velho, Gomes e Romariz, 1998)

Porcelana eléctrica	30-50
Louça sanitária	25-35
Porcelana química	15-30
Mosaicos e azulejos	10-55

Tradicionalmente, a Europa Ocidental é reconhecida como a primeira região mundial de produção produtos sanitários. Estima-se, actualmente, que a Europa é responsável por 30 a 35% da produção mundial.

Contudo, influenciada pelas mudanças de mercado, a indústria sanitária europeia foi objecto, nos últimos anos, de uma reestruturação profunda devido à transferência de importantes unidades produtoras para a Europa de Leste, o Norte de África e o Médio Oriente, o que obrigou as empresas europeias a racionalizar a produção e a otimizar os respectivos produtos.

Algumas dessas empresas, como por exemplo a DAM (Denain - Anzin Minéraux), desenvolveram uma nova gama de produtos feldspáticos especialmente concebidos para o mercado externo.

Tal como para qualquer indústria tradicional, o incremento da produtividade como resposta aos critérios económicos modernos, forçaram os industriais de produtos sanitários a desenvolverem novas tecnologias.

Em termos técnicos, o principal desafio para a indústria de sanitários prende-se com a complexidade das formas produzidas e a ausência de “standards” dessas mesmas formas.

Ao longo dos últimos anos, o principal desenvolvimento ocorreu no enchimento por pressão de moldes de resina, por oposição ao método tradicional de enchimento de moldes de plástico.

A pressão do enchimento se, por um lado, representava um real benefício para a produção de corpos cerâmicos em cru, também gerava muitos outros problemas.

Em primeiro lugar, o esforço financeiro necessário para implementar o enchimento de alta pressão - o custo dessas instalações é sempre muito elevado e com um retorno do investimento muito longo – o que, de algum modo, tem restringido o benefício dessa tecnologia.

Em segundo lugar, com instalações de enchimento por pressão existe uma menor flexibilidade para alterar a gama de produtos devido aos custos dos moldes de resina, pois estes são substancialmente mais dispendiosos que os tradicionais moldes de plástico.

Os moldes de resina estão adaptados a altos volumes de produção e tornam-se muito menos económicos quando se procede a mudanças frequentes de *design* que o mercado exige.

Actualmente estima-se que o enchimento por alta pressão absorva 15% da produção total.

Por outro lado, enquanto o desenvolvimento relativamente às técnicas de cozedura e automação das linhas de produção levou ao incremento da produção, as exigências de mão-de-obra continuam muito altas na indústria dos sanitários comparativamente com outros sectores cerâmicos como o do pavimento.

Nos países da Europa Ocidental os custos de mão-de-obra na indústria de produtos sanitários estimam-se entre os 35-50% dos custos de produção.

O mercado dos produtos sanitários encontra-se associado ao sector da construção civil que, por sua vez, se relaciona com o do nível de desenvolvimento económico dos países.

Nos países da Europa Ocidental, o consumo de produtos sanitários está directamente ligado a melhoramentos no sector da construção, embora as condições económicas, nos últimos anos, não tivessem permitido um aumento garantido deste mercado.

Em termos globais, o mercado da Europa Ocidental encontra-se distribuído pela Alemanha (20%), pelo Reino Unido (15%), pela Itália (13%) e pela França, com 12%. No total este mercado representa 33% do mercado mundial.

Noutros países, o mercado de produtos sanitários está ligado à construção de novos edifícios e aos projectos de tratamento de efluentes líquidos, cujo desenvolvimento depende do nível de industrialização desses países. Contudo, são estes países em desenvolvimento que garantem o crescimento da indústria.

A estrutura da indústria de produtos sanitários alterou-se significativamente ao longo dos últimos anos, resultado da consolidação da produção levada a cabo por apenas uma “mão cheia” de empresas. Acontece que as unidades de produção mais significativas da Europa são propriedade de um dos seguintes grandes grupos:

- Grupo Rocca/Espanha, que comprou a KeramiK Laufen AG.
- Sanitec-Metra /Finlândia, que se fundiu com a Sphinx-Gustavsburg e Villeroy & Boch AG da Alemanha e Ideal Standard, parte da American Standard.

Muito poucas empresas de produtos sanitários restringem a sua produção a apenas um país salvo os pequenos produtores cujos produtos se destinam a mercados muito específicos ou mercados de produtos de “alta cotação”.

Tal globalização e consolidação permitiram o desenvolvimento e coordenação de diversas estratégias internacionais.

Entre outras assistiu-se a uma transferência da produção para Este, devido a um aumento da competitividade na indústria. As empresas viram-se obrigadas a melhorar a respectiva produtividade e a aproximarem-se dos mercados em crescimento, descentralizando as unidades de produção para países com custos de mão-de-obra mais baixos, fundamentalmente a Europa de Leste.

Podem citar-se os investimentos realizados pela Laufen na República Checa, pela Snitec na Polónia, pela Lebanon no Egipto e pela Ideal Standard na República Checa, na Bulgária e no Egipto, assim como da Rocca em Marrocos e Turquia e da Villeroy & Boch na Hungria e na Roménia.

Verificou-se, também, uma optimização das matérias-primas, especialmente na Europa Ocidental que desenvolveu esforços na concentração e racionalização da produção, limitando a gama de produtos a produzir.

A optimização da indústria de produtos sanitários teve um impacto directo nos produtores de matérias-primas, que foram consultados e desafiados a encontrar soluções que respondessem aos requisitos exigidos pelas mudanças técnicas que se verificaram na indústria europeia.

Neste sentido, um dos principais fornecedores de feldspato em França tomou a iniciativa de optimizar a funcionalidade de cada matéria-prima que produzia para aplicação na indústria sanitária. Como resultado colocou no mercado, especialmente para exportação, um novo leque de feldspatos para aplicar na indústria de vidrados sanitários.

A figura 52 apresenta a análise química de feldspatos comercializados para o sector dos sanitários.

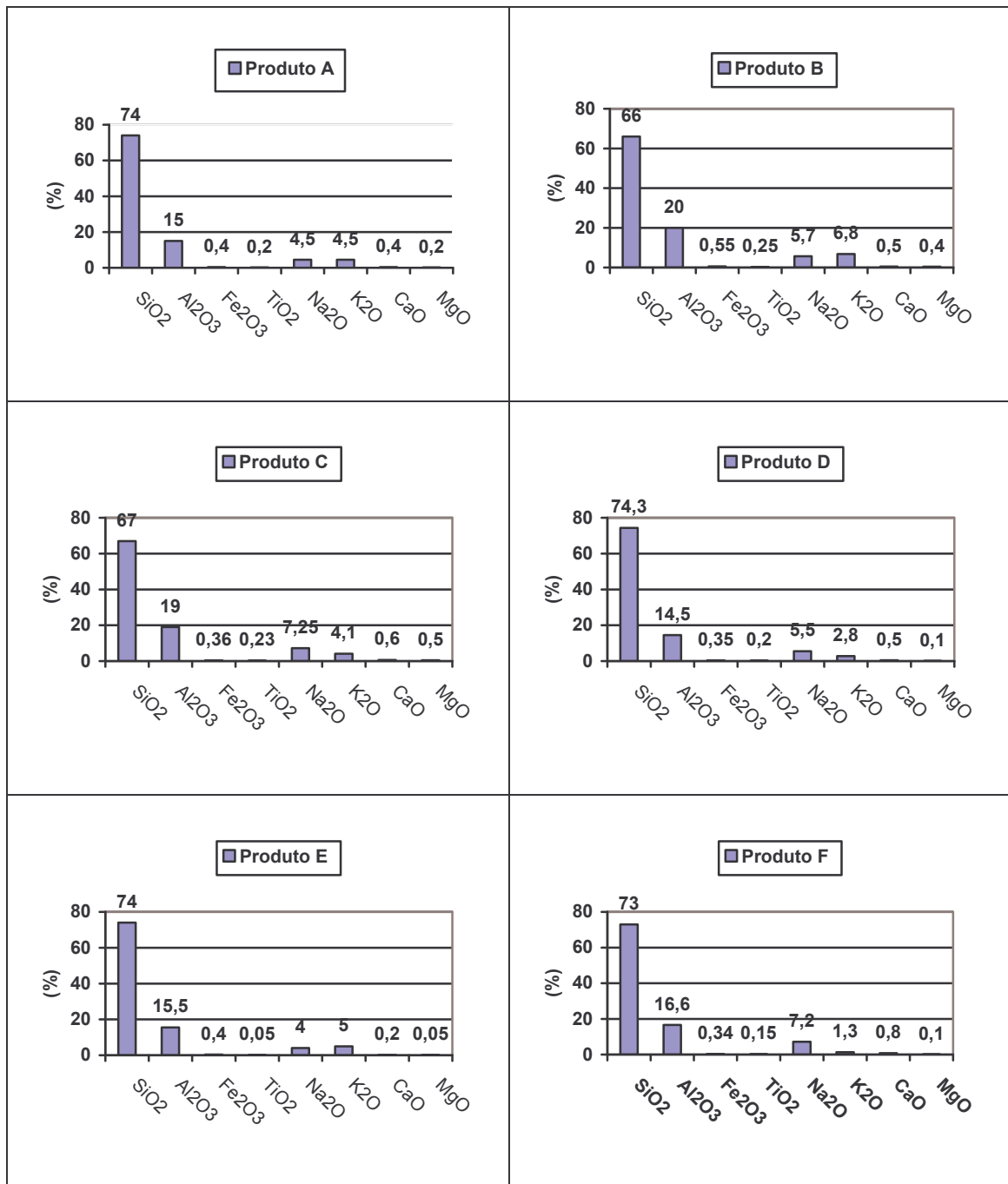


Fig. 52- Composição química de alguns feldspatos para a indústria de sanitários

6.2.2.1 Feldspatos para vidrados sanitários

Tradicionalmente na produção cerâmica a formulação é composta por dois elementos principais, o constituinte plástico, proveniente do caulino, e o constituinte duro proveniente da sílica e do feldspato.

A função do constituinte plástico consiste em dotar o corpo cerâmico, em cru, de moldabilidade, enquanto os constituintes duros dotam o corpo cerâmico com a capacidade de manter a forma depois da cozedura, actuando durante a mesma.

Quando as formas são mais complexas, tais como as concavidades dos lavatórios, o corpo cerâmico em cru apresenta diferentes espessuras e fica submetido a diferentes tensões, para além das resultantes do próprio peso.

Por conseguinte, uma das principais dificuldades que surge durante a cozedura consiste em prever a reacção que se produz, de modo a determinar a correcta forma do molde para que o resultado depois da cozedura seja o pretendido.

Propriedades como a fusibilidade, trabalhabilidade e retracção devem ser muito bem dominadas durante o processo de cozedura. Estes parâmetros deverão ser muito bem controlados dado que interagem entre si. Tanto a mineralogia como a dimensão dos cristais influenciam fortemente as características dos feldspatos como fundentes.

Como já foi referido os feldspatos sódicos e potássicos apresentam comportamentos diferentes quando submetidos ao processo de cozedura.

Os feldspatos-Na caracterizam-se por um ponto de fusão mais baixo (1170° C) e com uma transição para uma súbita fusão, que se traduz numa rápida contracção e fusibilidade em função da temperatura.

A fase líquida resultante da fusão dos feldspatos sódicos é caracterizada por uma baixa viscosidade (fig. 53).

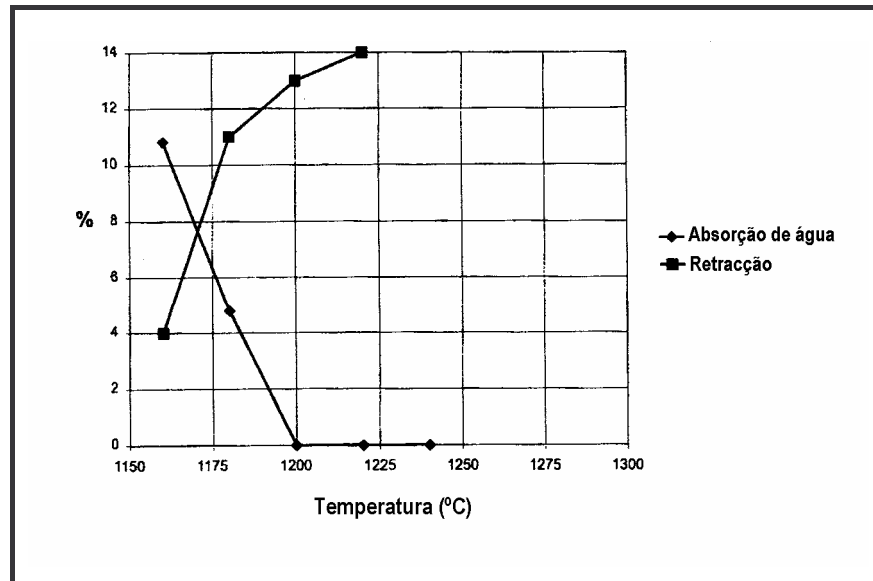


Fig. 53- Comportamento cerâmico do feldspato sódico (adaptado de Mottet, 2000)

O feldspato-K (ortoclase) apresenta um ponto de fusão superior ($\approx 1500^{\circ}\text{C}$) e o respectivo comportamento na cerâmica é claramente mais progressivo, pelo que a fase líquida apresenta uma alta viscosidade (fig. 54).

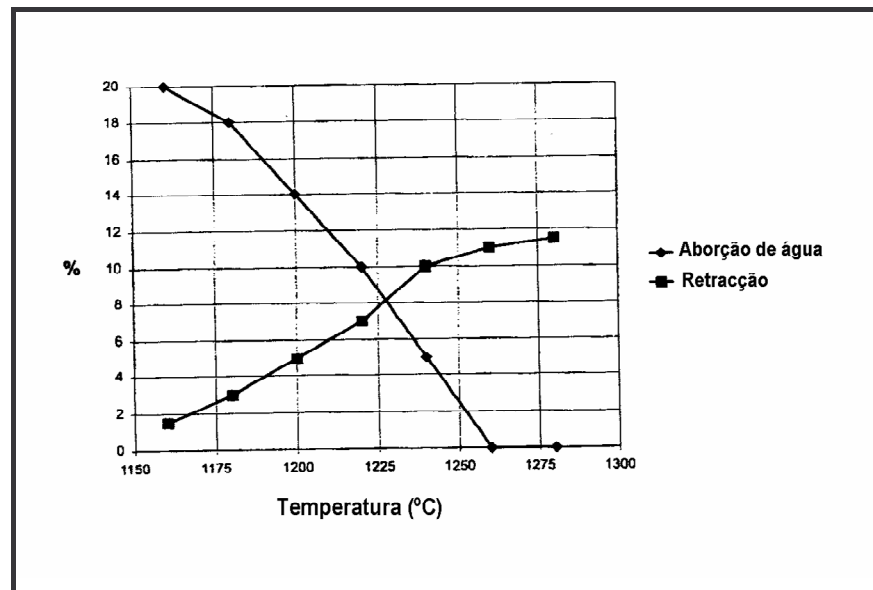


Fig. 54 - Comportamento cerâmico do feldspato potássico (adaptado de Mottet, 2000)

O diagrama de Schairer, representado na figura 55, ilustra alguns pontos eutéticos que permitem modulação da temperatura de fusão das misturas (Albite, Ortoclase, Quartzo).

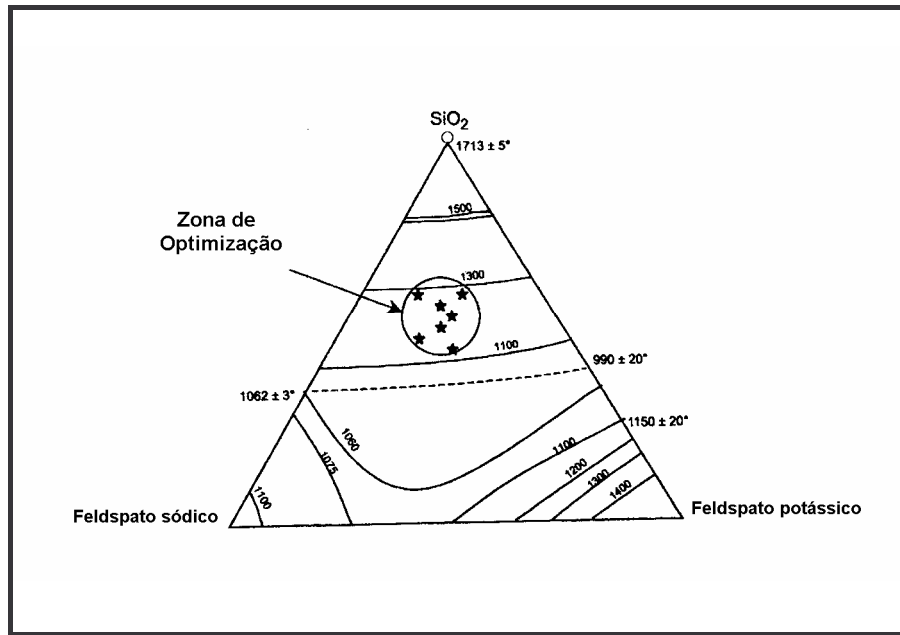


Fig. 55- Formulação mineralógica do feldspato silicioso dos produtores de sanitários da Europa ocidental (adaptado de Mottet, 2000)

Geralmente quanto mais siliciosos e potássicos forem os feldspatos mais viscosas serão as fases líquidas resultantes da fusão. Mudanças da formulação dos constituintes não plásticos, permitem um melhor controlo das propriedades cerâmicas por forma a obter os resultados finais pretendidos.

A fragmentação dos constituintes duros influencia dois dos principais parâmetros dos corpos cerâmicos, nomeadamente, a consistência do corpo cerâmico e a respectiva reactividade durante a cozedura.

Nos sanitários os constituintes duros complementam a generalidade dos constituintes finos e plásticos, tais como os caulinos, formando cerca de 50% do peso total.

Demasiadas partículas finas não favorecem a coesão da mistura e, do mesmo modo, demasiados grãos maiores podem tornar o produto quebradiço em alguns pontos.

A distribuição granulométrica pode influenciar directamente a reactividade. Para misturas de igual densidade, as granulometrias mais finas podem gerar uma superfície específica demasiado alta que impeça a reacção com outras partículas.

Acontece, porém, que uma distribuição granulométrica mais grosseira também pode reduzir a reactividade e a capacidade de formação de uma fase líquida equilibrada durante a cozedura.

Tendo em conta as características mecânicas dos corpos sanitários em cru (formas e espessuras variadas, contracções internas diferenciadas, etc.), a cozedura deverá dar resposta às diversas exigências técnicas.

A fusão deverá ser progressiva pois fusões súbitas não permitem uma cozedura homogénea, da superfície para o interior do corpo cerâmico, de que resultará a formação de poros nos produtos.

As características da fase líquida adquiridas durante a fusão, deverão ser cuidadosamente controladas pois, se aquela for demasiado fluida cria grandes deformações nos produtos o que levará a uma difícil previsão da forma final do produto.

A temperatura de cozedura está intimamente ligada aos custos de produção, pois as altas temperaturas significam custos energéticos superiores assim como investimentos maiores e, conseqüentemente, custos de manutenção acrescidos em materiais e forno refractário.

A formulação das misturas também influencia os custos segundo o diagrama de Schairer, os produtos minerais mais puros ali referenciados apresentam custos diferentes e variáveis.

Relativamente ao aumento dos custos em termos gerais, eles resultarão dos feldspatos sódicos e potássicos, dado que a sílica relativamente a este se apresenta menos dispendiosa. Contudo, os custos também podem variar em função do grau da fragmentação atingido, se não ultrapassar o custo da própria matéria-prima.

Como forma de dar respostas às referidas contrariedades, tornou-se fundamental otimizar a proporção dos constituintes duros, conforme ilustra a figura 56, solução esta adoptada pelos produtores de materiais sanitários europeus.

É importante referir que, antes de definir uma formulação específica em termos de produtos comercializáveis, os produtores adoptaram aproximadamente a mesma posição no diagrama de Schairer.

A área designada de zona de optimização resulta, essencialmente, da optimização levada a efeito pelos produtores de materiais sanitários sobre os respectivos fornecedores de matérias-primas. Aquela zona não se situa na direcção dos pontos mínimos de fusão

indicados no diagrama, mas sim centrada e direccionada para o polo silicioso no qual a fusão é relativamente progressiva e o fluxo vítreo equilibrado.

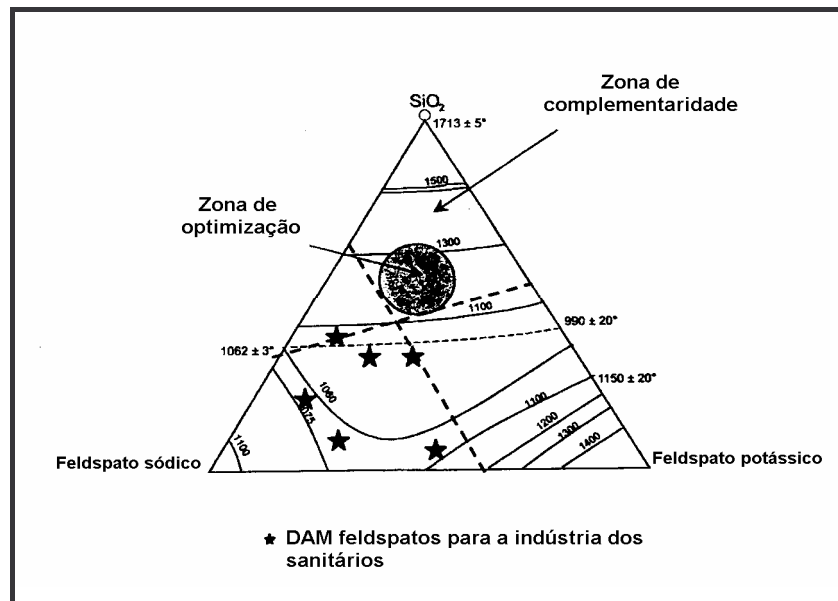


Fig. 56- Possibilidades de formulação de feldspatos utilizadas pela DAM (adaptado de Mottet, 2000)

A referida posição também conduz a uma óptima economicidade, abrangendo a generalidade das propriedades cerâmicas.

Tendo em consideração os custos de fragmentação e moagem, foram realizados ensaios de forma a determinar a redução de granulometria óptima que concluíram que aquela se deveria situar nos 80mm (200 mesh) (Mottet, 2000).

Com aquele grau de trituração eram perfeitamente monitorizáveis as características do equilíbrio do fluxo de fusão.

A incidência dos teores dos elementos químicos presentes numa determinada matéria-prima condicionam as características cerâmicas dos produtos cozidos, constituindo um factor essencial para alcançar as exigências de qualidade dos produtos de acordo com os valores normativos parametrizados.

Existe uma forte relação entre os teores dos elementos químicos presentes nas matérias-primas e as características dos produtos cerâmicos com elas produzidos. Destacam-se em seguida algumas dessas relações:

- A dependência da cor branca com o teor de Fe_2O_3 ;

- A influência do teor em alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) e a razão entre estes óxidos na fusibilidade e plasticidade;
- A relação da desflocubilidade e fusibilidade com os teores em CaO e MgO , respectivamente;
- A refractaridade e plasticidade em função dos teores em SiO_2 e Al_2O_3 , respectivamente, e da sua relação.

O quadro 13 enumera os valores percentuais indicativos referentes aos teores dos elementos químicos de maior relevância nos produtos para utilização na indústria cerâmica, tendo em vista os subsectores a que se destinam.

Quadro 13 – Valores percentuais indicativos dos fundentes feldspáticos a utilizar nos diferentes sectores da indústria cerâmica

	PAVIMENTO/REVESTIMENTO	FAIANÇA	GRÉS	GRÉS FINO	PORCELANA
SiO_2	60-75	60-70	60-70	60-70	
Al_2O_3	15-25	20-25	15-25	20-25	
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$	2-4	<1	2-4	<0,5	<0,15
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	5-8	>9	5-8	>9	>12
CaO/MgO	<1		<1		
P.R.	2-4	<1	2-4	<1	<1

6.2.3 Aplicação como carga

O feldspato pode ser aplicado como carga e extensor principalmente no fabrico de tintas, plásticos e borrachas.

Propriedades físicas como uma boa dispersão, inércia química e pH estável, baixo teor em sílica livre e boa brancura (89%-95%), contribuem para o bom posicionamento dos materiais feldspáticos como carga, em diversas indústrias.

Contudo, relativamente a este tipo de aplicação, o feldspato e o sienito nefelínico competem com outras matérias-primas, também utilizadas como cargas, mas com mais baixo valor (valor do produto) e geograficamente melhor posicionadas, tais como barites, carbonato de cálcio, caulino, mica e talco.

Consequentemente, os materiais feldspáticos são frequentemente considerados como uma segunda opção neste tipo de aplicações, isto é, como cargas e extensores, de que resulta uma difícil penetração no mercado.

Uma vez que a silicose resulta da inalação de poeiras que contêm sílica, a legislação existente já aplicada em muitos países regula a quantidade admissível de poeiras siliciosas nos locais de trabalho.

Tal atitude, provocou alguma limitação na aplicação de cargas para a indústria resultantes de materiais feldspáticos, dado que a sílica ocorre como um co-produto no desmonte e extracção dos feldspatos.

O sienito nefelínico, relativamente aos aspectos atrás referidos, beneficia do facto de não conter sílica livre, pelo que não sofre das limitações citadas, quanto à respectiva aplicação como carga na indústria.

O quadro 14 indica as especificações técnicas, normalmente exigidas aos materiais feldspáticos para que estes possam ser aplicados como cargas.

Quadro 14- Especificações dos feldspatos para aplicação na indústria como carga

FELDSPATO				
BRANCURA (%)	89,6	91,4	91,5	92,2
HUMIDADE (%)	0,1	0,1	0,1	0,1
pH	8,7	9,3	9,3	9,3
ABSORÇÃO DE OLEO	16-17	18-19	19-20	21-23
GRANULOMETRIA, % de finos inferior a				
74μ	99,6	100	100	100
44μ	96	99,95	100	100
30μ	87	94	99	100
20μ	72	88	96	100
10μ	41	60	70	90
5μ	19	30	35	55
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (m ² /g)	0,8-0,9	1,0-1,2	1,2-1,4	1,5-1,6

De qualquer modo, a aplicação destes materiais como cargas na indústria, representa apenas uma pequena quota de mercado, ainda pouco significativa.

Os quadros 15 a 18 indicam as características mais importantes dos feldspatos nos diversos sectores de aplicação.

Quadro 15 – Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector das tintas

SECTOR DE APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS
TINTAS	Boa dispersibilidade
	Inércia química
	Excelente retenção da tinta
	Elevado grau de brancura quando seco
	pH estável
	Baixa viscosidade
	Resistência à abrasão
	Boa integridade do filme
	Excepcional resistência a baixas temperaturas

Quadro 16 - Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector das borrachas e ligantes

SECTOR DE APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS	UTILIZAÇÃO PRINCIPAL
BORRACHAS E LIGANTES	Boa dispersibilidade	Borracha em silicone a aplicar como componentes de automóveis
	Inércia química	
	Excelente retenção da tinta	
	Elevado grau de brancura quando seco	
	pH estável	Ligantes PVA
	Baixa viscosidade	Calafetagens de borracha neopreno
	Resistência à abrasão	
	Boa integridade do filme	
	Excepcional resistência às baixas temperaturas	
	Índice de refração	

Quadro 17 - Características mais importantes dos feldspatos para aplicação no sector dos plásticos

SECTOR DE APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS	UTILIZAÇÃO PRINCIPAL
PLÁSTICOS	Boa dispersibilidade	
	Inércia química	
	Excelente retenção da tinta	
	Elevado grau de brancura quando seco	
	pH estável	
	Baixa viscosidade	
	Resistência à abrasão	PVC
	Boa integridade do filme	Époxies
	Excepcional resistência às baixas temperaturas	Poliésteres
	Índice de refração semelhante à maioria das resinas utilizadas, o que permite a produção de resinas claras	
	Transparente às radiações UV e microondas	

Quadro 18- Características mais importantes dos feldspatos para aplicação em diversos mercados

SECTOR DE APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS
OUTROS MERCADOS	Decapagem (areias feldspáticas de menor qualidade)
	Fluxo ou fundente para soldadura em eléctrodos de soldadura
	Ligantes de fluxos de revestimento

PRODUÇÕES E MERCADOS

7. PRODUÇÕES E MERCADOS

7.1 Produções e mercados do quartzo

Durante muitos anos Portugal exportou grandes quantidades de quartzo do tipo II para os países escandinavos e Itália, especialmente para a produção de silício metal e ferro-silício. A quase totalidade dos quartzos consumidos pela indústria nacional pertence aos tipos I e II, estabelecidos função das especificações químicas constantes no quadro 19.

Quadro 19 – Tipos de quartzo estabelecidos função das especificações químicas (Pereira, 1981)

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
Tipo I	≥ 99,5	≤ 0,10	≤ 0,20	≤ 0,10
Tipo II	≥ 98,5	≤ 0,10	0,20-0,50	≤ 0,10

No início da década de 70 (por volta de 1972), a indústria portuguesa de silício metal registou um crescimento substancial em termos de capacidade. O mercado nacional absorvia praticamente toda a produção de quartzo (cerca de 98%) e houve mesmo necessidade de definir novas reservas.

Esta subida deveu-se, em parte a uma resolução governamental de 1978 que condicionou as exportações de quartzo, ocasionando assim um decréscimo acentuado das exportações e a expansão da indústria portuguesa de Si e Fe-Si.

Entre 1972 e 1975 registou-se uma descida de 43%, na produção de quartzo, passando-se de 161 000 toneladas para 92 000 toneladas. Desde então, a produção de 1972 nunca mais foi atingida, embora se notasse novamente uma ligeira subida por volta dos anos de 1979/1980, todavia insuficiente para que a produção em 1979 não ultrapassasse as 130 000 toneladas.

É um facto conhecido que Portugal é um produtor europeu de quartzo de alta qualidade. Assistiu-se a partir de 1978 a um ligeiro aumento da produção de quartzo ($\pm 4,5\%$ / ano) acompanhado de uma diminuição do número de minas em actividade que ficou reduzida, em 1980, a cerca de metade do respeitante a 1978.

Na década de 80, e de forma mais notória a partir de 1985, verificou-se uma crescente dificuldade na comercialização do quartzo, devido ao encerramento da Milnorte (1981) e posteriormente das restantes electrometalúrgias nacionais, que se deveu fundamentalmente à quebra acentuada de cotações do silício, e que conduziram à falta de competitividade das nossas empresas especialmente pelo alto custo de energia.

Simultaneamente, a produção de feldspato também caiu por se tratar de um mineral cuja produção se considerava um sub-produto das explorações de quartzo.

A Milnorte (produtor de silício metal), a Eurominas (produtor de silício-manganês) e a Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos (produtor de silício metálico) consumiam cerca de 98 % da produção de quartzo com origem em minas situadas na zonas centro e sul do país, dado que as maiores ocorrência dos depósitos pegmatíticos, fonte do quartzo utilizado, localizam-se ao longo da faixa granítica do noroeste da Península Ibérica, passando pelas áreas de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Viseu, Guarda e penetrando em Espanha. No sul do país, a única zona de ocorrência situa-se na área de Évora.

A produção de quartzo, desde 1985-1986 sofreu um decréscimo acentuado, cifrando-se em 1994 em cerca de 14 000 toneladas, facto que se deveu ao referido encerramento das empresas nacionais e à difícil recuperação dos anteriores mercados do quartzo, perdidos devido à resolução governamental de 1978, tal como já se referiu.

Deve referir-se que a produção de quartzo em Portugal foi sempre suficiente para responder às necessidades dos mercados nacionais. No quadro 20 consta a produção nacional de quartzo verificada no período 1970-2002.

Constata-se ainda a existência de grandes reservas de quartzo com teores de sílica ligeiramente inferiores a 97,5%, e de alumina situados no intervalo 0,20-0,50.

Assim, deverá estudar-se a possibilidade de introdução deste último tipo de quartzo em certas indústrias por forma a rentabilizar as reservas existentes, isto se for possível o uso do quartzo em causa nas unidades electrometalúrgicas, libertando as melhores qualidades para fins mais nobres que o citado.

Quadro 20- Produção de quartzo entre 1970 e 2002 (Bol. de Minas 1970-2002)

ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS
1970	144 000	1979	130 300	1988	10 971	1997	9197
1971	158 200	1980	132 500	1989	4 720	1998	4148
1972	169 800	1981	120 850	1990	5 675	1999	14905
1973	163 300	1982	135 100	1991	6 928	2000	37842
1974	141 300	1983	129 210	1992	8 190	2001	20436
1975	101 400	1984	125 142	1993	9 745	2002	16690
1976	101 700	1985	135 228	1994	14 188		
1977	116 000	1986	71 817	1995	28335		
1978	122 200	1987	11 050	1996	9081		

Aconteceu, porém, que o mercado do quartzo sofreu uma revitalização a partir de 1997, momento em que se iniciou a exportação daquele mineral, principalmente para a Noruega, actividade que ainda se mantém e com perspectiva de crescimento, muito embora se tenha verificado um ligeiro decréscimo nos últimos cinco anos devido às reestruturações levadas a cabo nas grandes electrometalurgias e no esforço que estas desenvolveram na busca de melhores tecnologias e mercados para o silício (fig. 57).

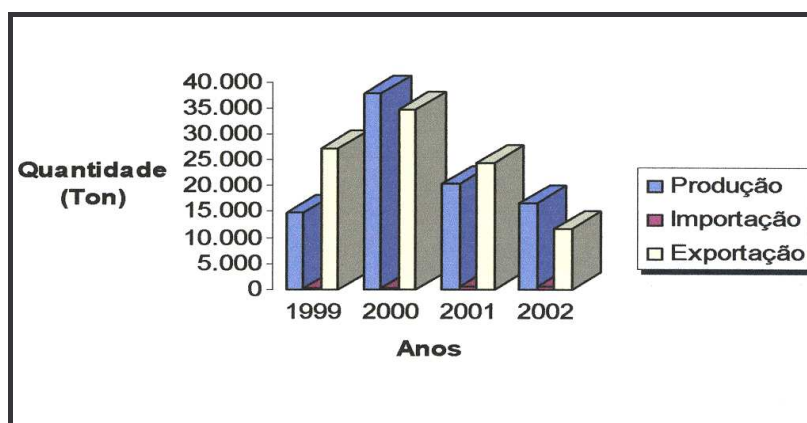


Fig. 57 – Relação Produção/Importação/Exportação de quartzo em Portugal

O rejuvenescimento do mercado veio desencadear a formação de novas empresas, de produção e comercialização do quartzo, assim como imprimiu uma nova dinâmica às empresas produtoras já existentes, cuja actividade havia baixado substancialmente, senão mesmo parado, levando-as a realizar trabalhos de prospecção e pesquisa que conduziram a novos pedidos de prospecção.

Essa atitude aliada a uma forte recuperação do mercado do quartzo, assinalou o reinício de um novo ciclo de grande dinamismo (fig. 58), que se fica a dever fundamentalmente ao elevado grau de qualidade dos depósitos de quartzo existentes e a uma boa relação qualidade/preço, o que vai de encontro à crescente procura a nível mundial, por parte dos principais produtores de Fe-Si e Si, de quartzo de boa qualidade, e consequentemente originou um aumento da produção nacional de feldspatos.

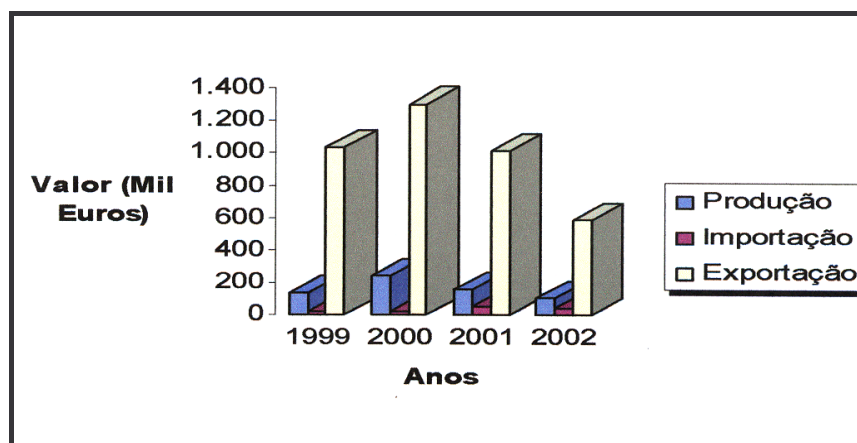


Fig. 58 – Relação Produção/Importação/Exportação em valor de quartzo em Portugal

Verifica-se actualmente algum desenvolvimento relativamente à procura de quartzo para fins decorativos, o que já acontece há mais tempo em alguns países da Europa, mas parece tratar-se de um mercado que, não sendo novo, se apresenta com boas perspectivas de crescimento num futuro próximo, podendo vir a constituir uma boa alternativa para as qualidades de quartzo que não satisfazem os parâmetros físicos e químicos necessários para as aplicações tradicionais.

Trata-se de um mercado que consome fundamentalmente os produtos granulados, sendo 95% da procura destes materiais construída por granulometrias inferiores a 12mm, onde a fracção 0/2 mm corresponde a cerca de 40% do material vendido.

Segundo um estudo de mercado realizado recentemente em França, este mercado consome anualmente, naquele país, cerca de 35000 toneladas, nas granulometrias apresentadas no quadro 21.

Quadro 21- Lotes granulométricos de quartzo em aplicações não tradicionais

GRANULOMETRIA (mm)	QUANTIDADE (ton)	COTA DE MERCADO (%)
0/1	600	2
0/2	8350	24
0/3	780	2
2/4	8310	24
4/6	6065	17
6/10	8950	25
10/14	2200	6

Como principais aplicações deste tipo de quartzo e granulometrias surgem, entre outras, o recobrimento de superfícies (em arruamentos, terraços e em cemitérios), alimentação animal, filtração (tratamento de efluentes), betão fresco desactivado (decoração), areação de terrenos (com legislação muito restritiva) e pavimentos industriais anti-derrapantes.

Estima-se que anualmente a produção mundial das duas principais qualidades de silício se situe na ordem dos 4 milhões de toneladas, sendo contudo visível um aumento da produção de silício relativamente ao ferro-silício. O quadro 22 indica os principais produtores Fe-Si e Si (Harben, 1995).

Quadro 22- Principais produtores de Fe-Si e Si (Harben, 1995)

FERRO-SILÍCIO E SILÍCIO METAL			
Ex- URSS	Brasil	Itália	Índia
EUA	França	Japão	Egipto
Noruega	Rep. África do Sul	Argentina	Alemanha
China	Canadá	Espanha	Suécia

O quadro 23 apresenta os principais países produtores de quartzo e respectivas produções entre 2000 e 2004.

Quadro 23 - Produções de quartzo por país (United States Geological Survey Mineral Resources Program)-
(10³ t)

País ¹⁷	2000	2001	2002	2003	2004
África do Sul	2,137	2,127	2,248	2,457	2,388
Alemanha ^e	8,500	8,500	7,500	7,500	7,500
Argentina	496	891	280	300	300
Austrália ^e	4,266	4,500	4,500	4,500	4,500
Austria ^e	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800
Belgica ^e	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
Brasil ^e	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
Bulgária ^e	900	900	900	900	900
Canadá	1,514	1,613	1,540	1,586	1,590
Chile ^e	300	300	300	300	300
Dinamarca ^e	43	50	55	60	60
E.U.A.	28,400	27,900	27,300	27,500	29,700
Egipto ^e	600	600	600	640	640
Equador	28	35	41	45	45
Eslováquia	2,000	2,000	2,200	2,200	2,200
Eslovénia	12,526	11,510	11,000	11,000	11,000
Espanha ^e	6,600	6,500	6,500	6,500	6,500
Filipinas ^e	70	70	70	70	70
Finlândia ^e	73	148	148	155	156
França ^e	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
Gambia	170	170	1,508	1,534	1,530
Grécia ^e	90	90	90	100	100
Guatemala ^e	173	161	38	30	30
Hungria ^e	500	500	500	500	520
Índia ^e	1,350	1,400	1,400	1,500	1,500
Indonésia ^e	124	124	124	124	120
Irão ^e	1,000	1,700	1,700	1,700	1,700
Israel ^e	300	306	330	320	320
Itália ^e	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Jamaica	7	8	9	13	13
Japão	6,121	5,768	4,893	4,700	4,500
Jordânia ^e	118	122	132	129	129
Malásia	447	575	447	534	550
México	1,803	1,720	1,779	1,689	2,003
Noruega ^e	1,300	1,500	1,400	1,500	1,500
Paquistão ^e	162	165	165	165	165
Peru	74	120	300	196	196
Polónia	1,675	1,564	1,486	1,500	1,500
Reino Unido ^e	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500
República Checa ^e	985	950	900	900	900
República da Coreia	879	900	891	480	480
Roménia	814	733	1,569	1,013	1,100
Servia e Montenegro ^e	100	75	75	75	100
Suécia ^e	500	600	600	600	600
Tailândia	472	514	781	1,294	1,300
Turquia	1,485	1,207	1,274	1,283	1,300
Venezuela	422	627	690	700	700
Total	8.951,88	9.837,71	8.570,00	7.441,16	7.501,51

¹⁷ e = estimada

7.2 Produções e mercados do feldspato

Tal como já foi referido, os feldspatos são aplicados na indústria essencialmente pelo respectivo teor de alumina e álcalis.

O termo feldspato engloba um grande leque de materiais e, segundo a *Eurofel*, a *Association of European Feldspar Producers*, gerou-se uma certa confusão entre os consumidores, na União Europeia.

Assim, e com o objectivo de criar uma terminologia comum, aquela associação de produtores e respectivos membros, acordaram relativamente a uma definição standard quanto aos produtos feldspáticos.

De acordo com a *Eurofel*, os produtos feldspáticos são silicatos de alumínio com:

- Teor em $\text{SiO}_2 > 58\%$
- Teor de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) $> 2\%$
- Teor em alumina (Al_2O_3) $> 3\%$
- Perda ao Rubro $< 3\%$

Aquela associação foi ainda mais longe ao criar uma distinção mais clara entre famílias/produtos de feldspatos, e que consistia no seguinte:

- Areias feldspáticas- com teor de álcalis $< 6\%$ ou teor de alumina $< 8\%$.
- Feldspato pegmatítico- com teor de álcalis $> 6\%$ ou teor de alumina $8\%-14\%$.
- Feldspato- com teor de álcalis $> 6\%$ ou teor de alumina $> 8\%$.

7.2.1 Factores que influenciam a procura

As vendas de feldspato e sienito nefelínico dependem fortemente da prosperidade das indústrias do vidro e da cerâmica.

Ambos os casos são muito influenciados pelo sector da construção civil, o qual apresenta uma tendência de crescimento, especialmente em mercados emergentes, tais como a Europa de Leste, América Latina e Ásia.

A indústria cerâmica, em todo o mundo, apesar de situações pontuais de crise, relativamente aos pavimentos e revestimentos apresenta um crescimento, ainda que mais atenuado, tendo em conta os anos noventa (quadro 24).

Quadro 24 – Produções de feldspato por país (United States Geological Survey Mineral Resources Program)- (10³ t)

País	2000	2001	2002	2003	2004 ^c
África do Sul	66,774	66,736	57,197	57,343	53,045
Alemanha ^c	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000
Algéria ^c	707	--	--	--	--
Argentina	59,466	48,522	82,642	88,427	90,000
Austrália	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
Birmânia ^c	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Brasil	117,715	75,000	75,000	75,000	75,000
Bulgária	22,000	23,000	34,000	35,000	35,000
Chile	2,311	2,867	3,069	6,690	6,000
Colômbia ^c	55,000	55,000	93,452	100,000	100,000
Cuba ^c	6,700	7,000	7,000	7,000	7,000
E.U.A. ^c	790,000	800,000	790,000	800,000	770,000
Egipto	330,000	300,000	350,000	350,000	350,000
Equador	47,041	60,688	31,254	34,400	35,000
Eslováquia ^c	6,000	6,000	4,000	5,000	5,000
Espanha ^c	460,000	450,000	450,000	450,000	450,000
Etiópia	285	310	310	310	310
Filipinas	3,440	33,122	30,000	30,000	30,000
Finlândia	33,200	34,289	46,715	36,000	35,000
França ^c	642,000	650,000	650,000	650,000	650,000
Grécia ^c	96,000	95,000	95,000	95,000	95,000
Guatemala	17,804	6,809	11,843	9,320	9,000
Índia ^c	110,000	110,000	110,000	150,000	150,000
Irão	156,000	204,078	191,316	190,000	200,000
Itália ^c	2,500,000	2,600,000	2,500,000	2,500,000	2,500,000
Japão ^c	52,000	50,000	50,000	50,000	50,000
Jordânia	11,112	611	530	530	530
Macedónia	10,057	20,449	21,000	21,000	20,000
Malásia	29,895	40,509	30,819	31,000	31,000
Marrocos	6,052	8,979	19,401	20,000	20,000
México	334,439	329,591	332,101	346,315	350,000
Nigéria	1,449	1,811	1,800	1,800	1,700
Noruega ^c	75,000	73,000	75,000	74,000	75,000
Paquistão ^c	43,186	44,000	45,000	47,000	47,000
Peru	5,642	4,253	6,018	7,349	7,000
Polónia ^d	165,200	220,600	293,000	320,000	300,000
Quênia	82	73	75	75	75
Reino Unido ^c	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
República Checa	337,000	373,000	401,000	421,000	400,000
República da Coreia	330,417	389,361	415,580	477,012	480,000
Roménia	37,157	43,047	51,959	71,717	70,000
Rússia ^c	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000
Servia e Montenegro	4,254	4,451	4,500	4,500	4,500
Sri Lanka	28,638	27,438	28,866	32,586	33,000
Suécia	35,000	40,450	40,000	41,000	42,000
Tailândia	542,991	710,543	783,733	824,990	825,000
Turquia	1,147,716	1,510,293	1,766,387	1,862,310	1,900,000
Uruguai	2,493	4,722	4,700	4,700	4,700
Uzbequistão ^c	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300
Venezuela	130,000	142,000	147,000	149,000	150,000
Zimbabué	2,059	1,055	728	816	1
Outros	119,837	120,000	120,000	120,000	120,000
Total	9,540,000	10,400,000	10,800,000	11,200,000	11,100,000

Relativamente a Portugal, tem-se verificado uma crescente necessidade em fundentes feldspáticos, uma vez que estas matérias-primas são essenciais nos diversos sectores da indústria cerâmica.

Paralelamente a um aumento sustentado da produção nacional dos materiais feldspáticos, também se registou um razoável acréscimo da importação desta matéria-prima, entre os anos de 1984 e 1996, segundo os dados oficiais.

A produção de feldspato tem apresentado uma forte tendência de crescimento nos últimos anos como se pode observar no quadro 25, fundamentalmente pelo esforço que a indústria nacional tem desenvolvido no sentido da substituição dos produtos importados por produtos nacionais.

Quadro 25 – Produção de feldspato entre 1985 e 2002 (Bol. de Minas 1985-2002)

ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS
1985	29011	1992	99645	1999	181132
1986	35281	1993	90547	2000	228636
1987	40917	1994	87196	2001	192407
1988	51903	1995	106559	2002	230625
1989	69584	1996	96955		
1990	77329	1997	81597		
1991	93702	1998	155264		

Por outro lado, registou-se uma significativa diminuição das exportações, que neste momento quase não representam qualquer significado (fig. 59).

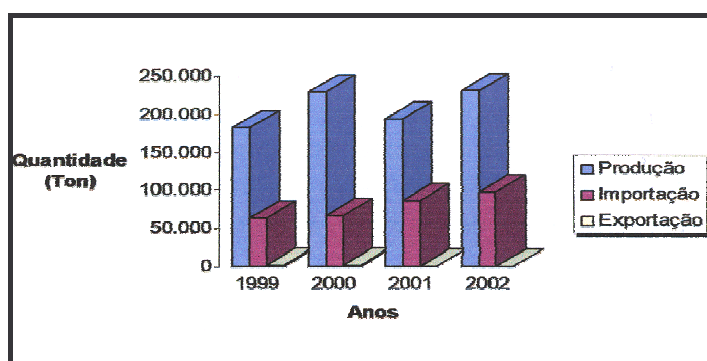


Fig. 59 – Relação Produção/Importação/Exportação em quantidade de feldspato em Portugal

Contudo, e apesar dos produtos importados apresentarem preços/tonelada bastante superiores aos produtos nacionais, continua a verificar-se uma tendência para o aumento desse desfasamento (fig. 60).

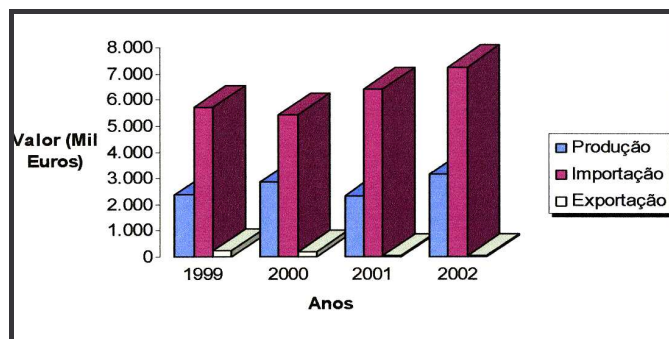


Fig. 60 - Relação Produção/Importação/Exportação em valor de feldspato em Portugal

Tudo leva a crer que os diferenciais acima referidos resultem do desenvolvimento tecnológico verificado na indústria cerâmica de transformação, desenvolvimento esse que actualmente não permite grandes variações nas matérias-primas processadas.

Dado que estas matérias primas são naturais, e a respectiva qualidade é função dos corpos geológicos responsáveis pela sua génese, elas apresentam variações significativas, pelo que se impõem processos de beneficiação e tratamento por forma a garantir a constância de características físicas, químicas e tecnológicas que satisfaçam os equipamentos industriais actuais.

É extremamente importante que as matérias-primas mantenham as características e cujas variações, a existirem, se mantenham em intervalos muito estreitos.

Em termos estratégicos, a opção dos empresários recaiu sobre os padrões de qualidade dos produtos, principalmente com o intuito de os mesmos poderem vir a ser objecto de certificação.

Na realidade os produtos cerâmicos nacionais evoluíram substancialmente em termos de qualidade, mas essa evolução tem obrigatoriamente de os posicionar no mesmo nível dos produtos importados pois, caso isso não aconteça, muito dificilmente poderão satisfazer as actuais exigências do mercado.

Uma vez que as matérias-primas nacionais e estrangeiras, no estado natural, não apresentam diferenças significativas, apenas a falta de beneficiação apropriada poderá

explicar os desvios de qualidade que os produtos nacionais exibem ao longo do tempo, em especial pelo facto de a maioria delas ser fornecido tal qual.

Relativamente à quantidade total de fundentes feldspáticos consumidos no mercado nacional, esta estima-se, no conjunto dos sectores, em cerca de 175 000 toneladas /ano.

Estima-se que cerca de 25% do consumo de fundentes feldspáticos em Portugal, resulte de importação. Trata-se de um mercado regulado pela lei da oferta e da procura não havendo, portanto, uma cotação internacional de referência.

Assim, a maior ou menor valoração destes produtos passa pela forte aposta na qualidade dos mesmos, constituindo padrão de referência os teores de alcalis (K_2O+Na_2O), os contaminantes ($Fe_2O_3+TiO_2$) e/ou outras impurezas e a granulometria.

Tal como já referido, embora as matérias-primas importadas assumam apenas um quarto do consumo nacional, o mesmo não se pode dizer quanto à respectiva valoração, pois constituem cerca de 60% da valoração dos fundentes consumidos.

Actualmente, o sector que mais consome fundentes feldspáticos é o do pavimento, ao qual se seguem os sectores do grés porcelânico, do sanitário, da porcelana, da faiança feldspática/grés cerâmico, dos coloríficos e por último o do vidro, conforme ilustra a figura 61.

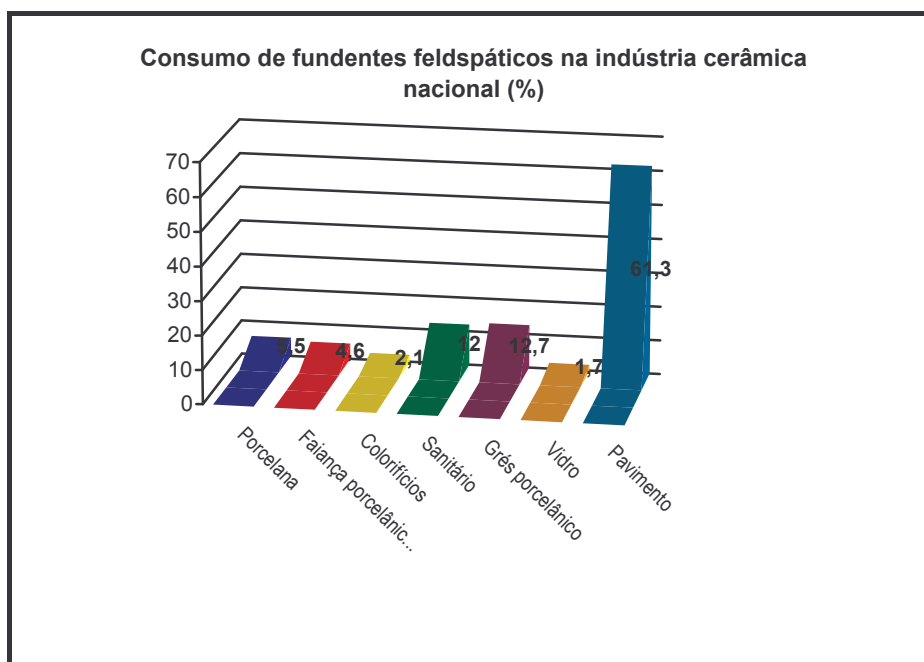


Fig. 61- Sectores nacionais consumidores de fundentes feldspáticos

Os quadros 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32, indicam as características de cada um dos sectores, nomeadamente o consumo anual de fundentes feldspáticos, escalões de consumo por empresa, tipologia de fundente, tipo fornecimento, existência ou não de especificações técnicas, tipo de ensaios na recepção, tipo de beneficiação na indústria transformadora e preços aproximados de aquisição destes materiais na fábrica.

Quadro 26 – Caracterização do sector da porcelana

SECTOR DA PORCELANA	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	10 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000 e 1 000 – 3 000 toneladas
Tipologia de fundente	Feldspato K importado; Feldspato K nacional; Feldspato Na importado
Fornecimento	Moagem grossa; britado; tal qual
Especificações técnicas	60 % sim, 40 % não
Ensaio de controlo na recepção	Teor em álcalis; fusibilidade; cor
Beneficiação na indústria transformadora	Desferritização
Preços de aquisição na fábrica	40 a 130 € / ton.

Quadro 27 – Caracterização do sector dos sanitários

SECTOR DO SANITÁRIO	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	22 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000, 1 000 – 3 000, 3 000 – 5 000 e 5 000 – 10 000 toneladas
Tipologia de fundente	Feldspato K importado; feldspato K/Na nacional; feldspato Na importado; outros
Fornecimento	Micronizado; moagem fina (< 1 mm); moagem média (2/1 mm) Britado
Especificações técnicas	43 % sim, 57 % não.
Ensaio de controlo na recepção	Teor em álcalis; fusibilidade Cor; granulometria
Beneficiação na indústria transformadora	Moagem
Preços de aquisição na fábrica	20 € a 100 € / ton.

Quadro 28 – Caracterização do sector da faiança e do grés cerâmico

SECTOR DA FAIANÇA FELDSPÁTICA / GRÉS CERÂMICO	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	8 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000 e 1 000 – 3 000 toneladas
Tipologia de fundente	
Grés cerâmico	Feldspato K nacional e importado; Feldspato Na importado; Feldspato Na / K nacional
Faiança feldspática	Feldspato K nacional Areias feldspáticas nacionais; Feldspato Li nacional
Fornecimento	Moagem grossa e fina; Micronizados
Especificações técnicas	Não, na generalidade
Ensaio de controlo na recepção	Humidade (%); Fusibilidade; Cor; Granulometria dos micronizados (resíduo a 325 mesh)
Beneficiação na indústria transformadora	Moagem
Preços de aquisição na fábrica	
Grés cerâmico	55 € a 100 € / ton.
Faiança feldspática	50 € a 81 € / ton.

Quadro 29 – Caracterização do sector do grés porcelânico

SECTOR DO GRÉS PORCELÂNICO	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	30 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000, 1 000 – 3 000 e 5 000 – 10 000 toneladas
Tipologia de fundente	Feldspato Na importado; Feldspato Na / K importado; Feldspato Na / K nacional; Areias feldspáticas nacionais e importadas
Fornecimento	Britado ou moagem grossa (>2 mm); Moagem média (2/1 mm); Raramente moagem fina (<1 mm)
Especificações técnicas	Não, na generalidade
Ensaio de controlo na recepção	Humidade (%); Fusibilidade; Cor; Perda ao rubro; Retracção (%)
Beneficiação na indústria transformadora	Moagem; Homogeneização
Preços de aquisição na fábrica	20 € a 60 €/ton.

Quadro 30 – Caracterização do sector do pavimento

SECTOR DO PAVIMENTO	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	110 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000, 1 000 – 3 000, 3 000 a 5 000 e 5 000 – 10 000 toneladas
Tipologia de fundente	Areias feldspáticas nacionais; Feldspato K nacional; Feldspato Li nacional; Feldspato K/Na e Na nacional
Fornecimento	Britado; Moagem grossa (>2 mm)
Especificações técnicas	Não, na generalidade
Ensaio de controlo na recepção	Humidade (%); Fusibilidade; Cor; Perda ao rubro; Retracção (%); Absorção de água; Granulometria
Beneficiação na indústria transformadora	Moagem
Preços de aquisição na fábrica	13 € a 50 €/ton.

Quadro 31 - Caracterização do sector dos coloríficos

SECTOR DOS COLORÍFICOS	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	3 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000 toneladas
Tipologia de fundente	Feldspato Na importado; Sienito nefelínico importado
Fornecimento	Moagem fina
Especificações técnicas	Sim
Ensaio de controlo na recepção	Fusibilidade Brancura
Beneficiação na indústria transformadora	Não
Preços de aquisição na fábrica	130 € a 400 €/ton.
Especificidade do sector	<ul style="list-style-type: none"> • Importação de fritas • Composições terminais (adição de caulino e argilas) • Acerto com fundentes

Quadro 32 – Caracterização do sector do vidro

SECTOR DO VIDRO	
Consumo anual de fundentes feldspáticos	3 000 toneladas
Escalões de consumo por empresa	<1 000 toneladas
Tipologia de fundente	Feldspato K importado; Feldspato K/Na importado
Fornecimento	Moagem média ou fina
Especificações técnicas	Sim
Ensaio de controlo na recepção	Análise química; Granulometria
Beneficiação na indústria transformadora	Não
Preços de aquisição na fábrica	77,5 €/ton

Actualmente, registam-se algumas mudanças relativamente à estrutura do mercado europeu, assistindo-se à tomada de liderança por parte da Espanha. Paralelamente, surgem dois potenciais fornecedores deste tipo de matérias-primas, que são a Turquia e a Índia.

Coloca-se assim um novo desafio aos produtores nacionais, pois além das razões já apontadas, surge ainda a implantação em Portugal de novas unidades estrangeiras.

Os sectores da porcelana, do sanitário e grés cerâmico são os que mais adquirem produtos importados, ao contrário dos sectores do pavimento e porcelanato, que consomem cerca de 63% e 12%, respectivamente.

A incorporação de fundentes feldspáticos é função do tipo de pasta cerâmica onde são utilizados, mas em média assume valores da ordem dos 13 a 17% na pasta de faiança feldspática e grés cerâmico, cerca de 20% na pasta de pavimento e 25% na pasta de porcelana, sanitário e porcelanato.

No quadro 33 apresentam-se composições químicas médias dos fundentes feldspáticos utilizados nas pastas dos referidos sectores.

Quadro 33 - Composições químicas médias dos fundentes feldspáticos utilizados nas pastas dos diversos sectores (dados em %)

	PORCELANA	SANITÁRIO	GRÉS CERÂMICO	FAIANÇA	PAVIMENTO
SiO ₂			60-70	60-70	60-75
Al ₂ O ₃			20-25	20-25	15-25
Fe ₂ O ₃ /TiO ₂	<0,15	<0,15	<0,5	<1	2-4
K ₂ O+Na ₂ O	>12	>12	>9	>9	5-8
CaO+MgO					<1
P.R.	<1	<1	<1	<1	2-4

De um modo geral, os produtos nacionais são colocados no mercado nacional sem qualquer tratamento ou, em alguns casos, são submetidos a operações de britagem e moagem, sendo esta última bastante grosseira.

São, normalmente, as indústrias transformadoras a dotar os produtos, com os seus próprios equipamentos, de características granulométricas adequadas à aplicação a que se destinam.

Estes factos constituem argumentos para que o mercado nacional recorra aos produtos importados, apesar destes se posicionarem no mercado com preços/tonelada bem mais elevados.

O quadro apresenta as características químicas de alguns dos feldspatos importados, designadamente dos E.U.A., Índia, França e Espanha.

Quadro 34 – Características químicas de alguns feldspatos importados

PAÍS DE ORIGEM	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)
E.U.A. (Ind. Cerâmica ¹⁸)	68,2	18,9	1,40	4,10	6,8	0,07	Traços
E.U.A. (Ind. Cerâmica ¹⁹)	66,3	18,5	0,81	10,75	3,0	0,08	Traços
E.U.A. (Ind. Cerâmica ²⁰)	77,4	13,5	1,05	2,86	4,9	0,06	Traços
Índia (Ind. Cerâmica ²¹)	65,0-68,0	15,0-18,0	-----	11,0-12,0	2,0-4,0	0,12	-----
França (Ind. Cerâmica)	72,0	16,8	0,90	1,30	7,20	0,43	0,20
França (Ind. Cerâmica)	67,0	19,0	0,60	4,10	7,25	0,36	0,50
Espanha (Ind. Vidreira)	67,4	18,0	0,54	10,75	2,50	0,09	0,06

¹⁸ Cerâmica geral

¹⁹ Cerâmica – Louça de mesa

²⁰ Cerâmica – Sanitários

²¹ Cerâmica - Revestimentos

***QUARTZO E FELDSPATO EM PORTUGAL:
ÁREAS AMOSTRADAS E RESPECTIVO
ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO***

8. QUARTZO E FELDSPATO EM PORTUGAL

8.1 Áreas amostradas e respectivo enquadramento geográfico e geológico

Neste estudo foram amostrados vários depósitos de quartzo e feldspato, dos tipos filoneano, pegmatítico e aplito-pegmatítico, em toda a faixa de granitóides representada na figura 62.

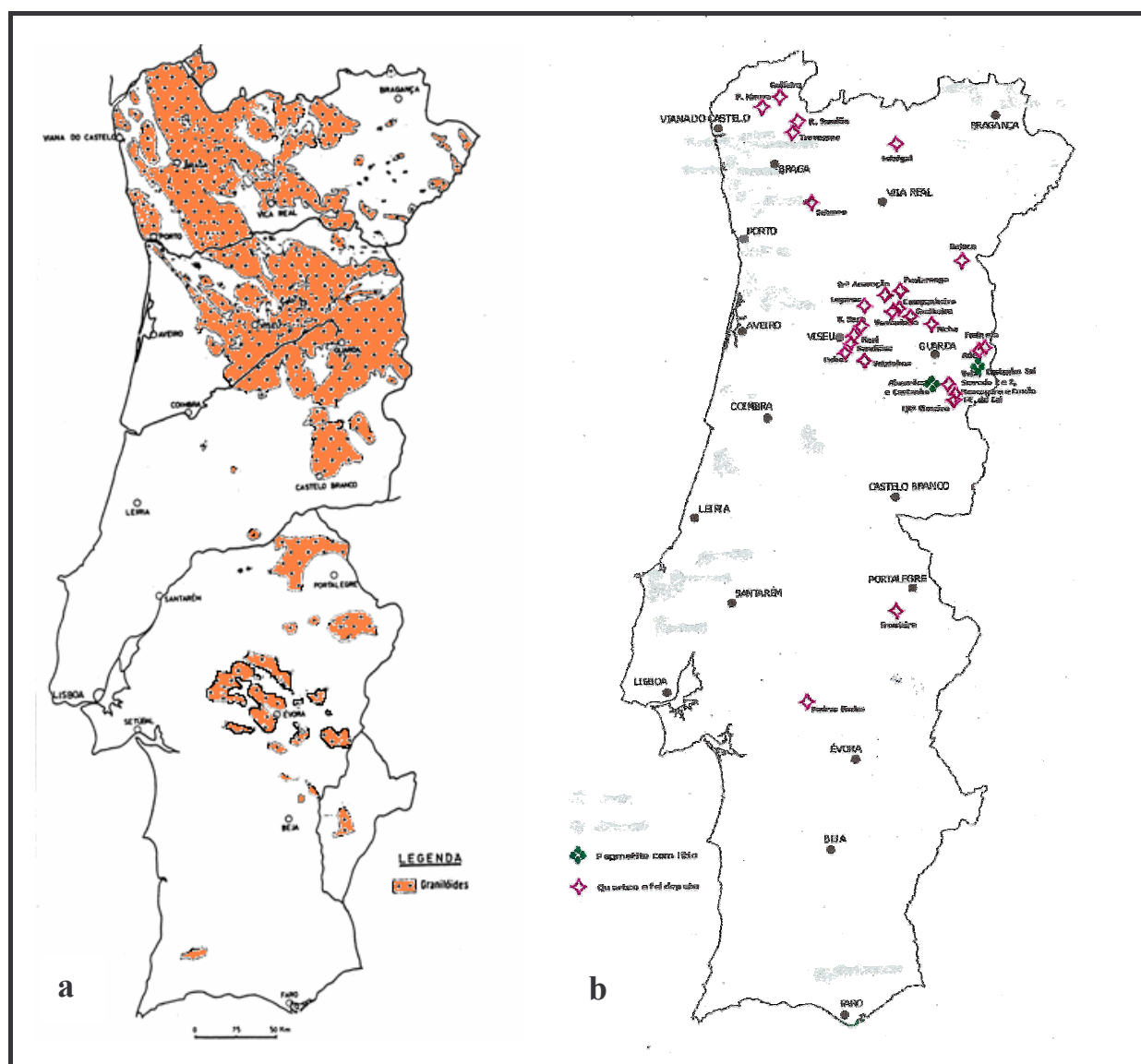


Fig. 62– a- Mapa das áreas amostradas e b- concessões mineiras atribuídas (adaptado de Ramos e Oliveira, 1980 e IGM, 2000)

O quartzo existente em Portugal apresenta uma excelente qualidade e provém de depósitos pegmatíticos e de filões quartzosos, de um modo geral relacionados com

formações graníticas e, a maioria desses depósitos situa-se na zona norte do país, especialmente nos distritos de Braga, Vila Real, Viseu e Guarda, verificando-se também algumas ocorrências mais a sul, designadamente no distrito de Évora.

Os filões de quartzo exibem formas lenticulares e ocorrem com espessura reduzida, frequentemente no interior de maciços graníticos e metassedimentos, geralmente associados a diversas mineralizações de cassiterite, volframite, berilo, columbite-tantalite, entre outras, e constituíram uma das principais fontes de produção de quartzo para a indústria metalúrgica.

Indicam-se, em seguida, alguns depósitos filoneanos ou pegmatíticos que foram objecto de prospecção e evidenciaram alguma potencialidade em termos de reservas e qualidade compatível com a aplicação industrial a que se destinam.

8.2 Quartzos

8.2.1 Filão de Dornas

O depósito de Dornas que é objecto do presente estudo, situa-se junto da localidade de Dornas, Concelho de Amares, Distrito de Braga (fig. 63).

Trata-se de uma área onde, em termos regionais, predominam as rochas graníticas assim como numerosos filões de rochas básicas, de quartzo e aplito-pegmatito.

A área em estudo é formada essencialmente por filões de quartzo, como é o caso do depósito de Dornas. São também visíveis afloramentos de massas quartzosas, as quais são constituídas por quartzo hialino, por vezes levemente rosado, acompanhado por pegmatito com berilo.

As rochas graníticas que integram a área surgem descritas nas folhas publicadas da carta geológica 1:50 000 da região, incluídas numa extensa mancha descrita como “granito porfiróide de grão médio ou fino a médio”.

Este depósito foi objecto de trabalhos preparatórios de lavra, há alguns anos, donde apenas terá sido extraído uma reduzida quantidade de quartzo, como se pode observar na figura 64.

Na figura 63 apresenta-se um extracto da carta geológica com a localização do depósito de Dornas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ponte da Barca, folha 5B).

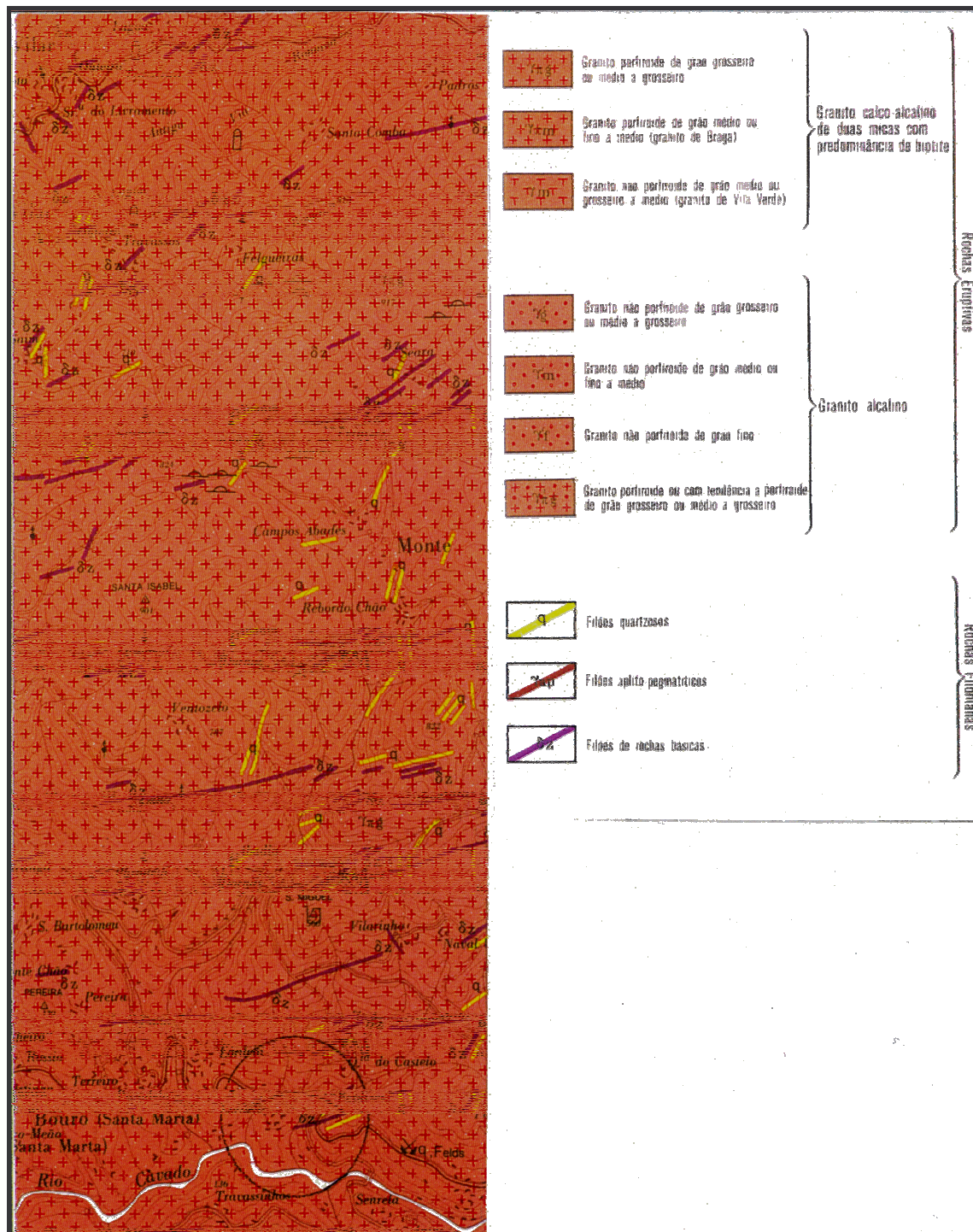


Fig. 63- Localização do depósito de Dornas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ponte da Barca, folha 5B)



Fig. 64 - Depósito de Dornas: a- stock de quartzo já desmontado; b, c- frentes expostas da antiga exploração de quartzo

As amostras de quartzo retiradas deste depósito têm as referências D1, D2, D3, D4, D5 e D6.

8.2.2 Pegmatito de Paredes (Lixa)

Na região de Paredes e próximo de Felgueiras e Castelo, a ENE de Macieira de Lixa, há um filão de aplito-pegmatito de direcção N 20° - 30° W, com cerca de 1 km de comprimento. O filão está cortado por falhas de direcção NS – SW a ENE – WSW que o

rejeitaram em diversos tramos, como se indica na figura 65. A Este de Paredes ocorrem dois filões paralelos, mais estreitos, de direcção N64°W, segundo C. Neiva (1976).

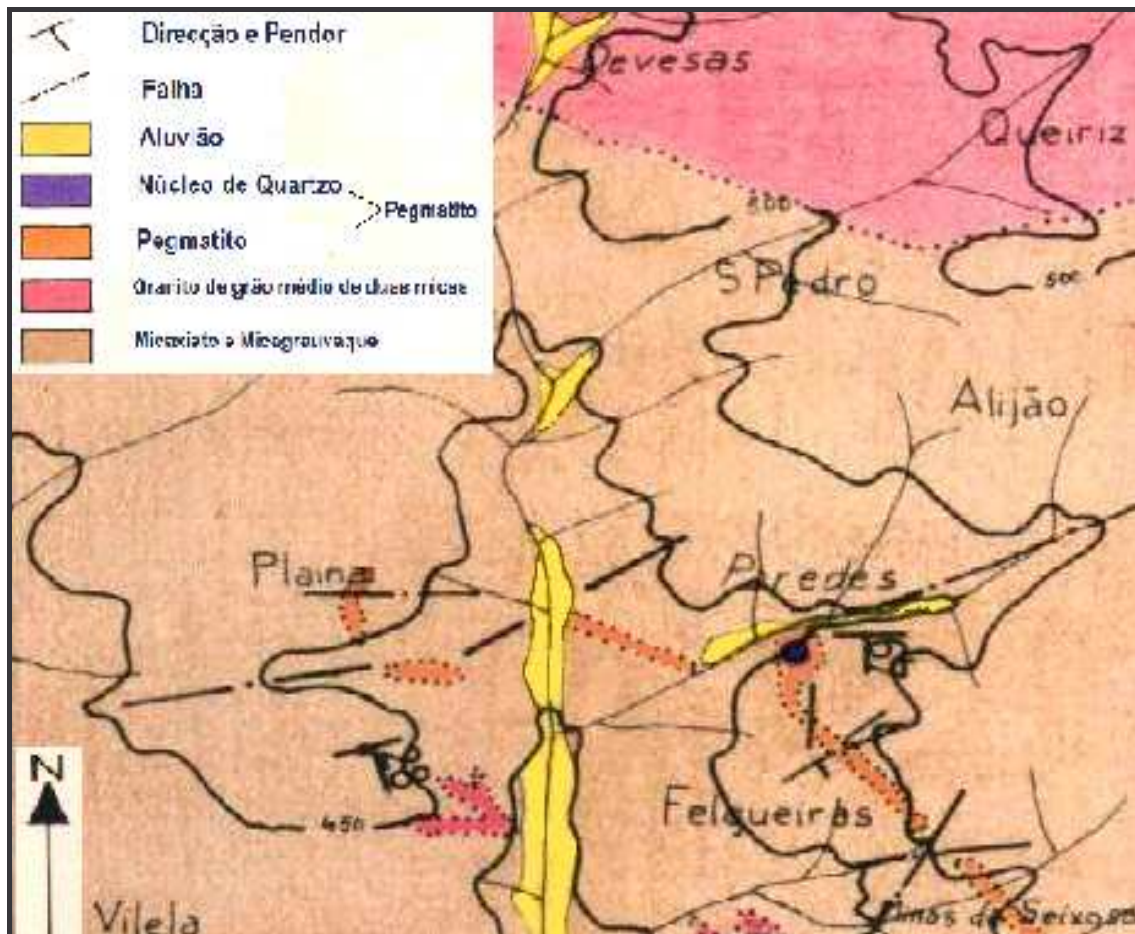


Fig. 65 - Pegmatito de Parede, na Lixa (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

O filão que corta o micaxisto, de direcção N80°E e pendor 67°S, apresenta-se bastante possante (10-30 m) e a porção pegmatítica mostra cristais de feldspato leitoso e róseo, moscovite e quartzo leitoso.

Em Paredes é visível um pequeno afloramento do núcleo de quartzo, cristalino e com bom aspecto, com dimensões 3x4 m, que pode alargar em profundidade e, além disso, como o filão é extenso, é provável que o núcleo se prolongue em extensão embora não aflore.

Neste filão encontra-se cassiterite e tantalite-columbalite. As coordenadas do núcleo de quartzo são M=199 350 m e P=487 625 m, na carta militar nº 99 (Felgueiras).

8.2.3 Quartzo de Mondim de Basto, Valdegas (Boticas), S.^{ta} Maria de Émeres (Valpaços), Três Minas, Jou e Valongo dos Milhais (Murça)

Nos concelhos de Mondim de Basto, Boticas, Valpaços, Vila Pouca de Aguiar e Murça foi possível localizar oito filões de quartzo que, pelas suas possanças, comprimentos e localizações junto ou muito próximo a bons meios de transportes ou por boas facilidades de exploração, podem oferecer interesse económico (Neiva, 1976). Referem-se seguidamente as características desses filões.

8.2.3.1 Quinta da Corujeira (Mondim de Basto)

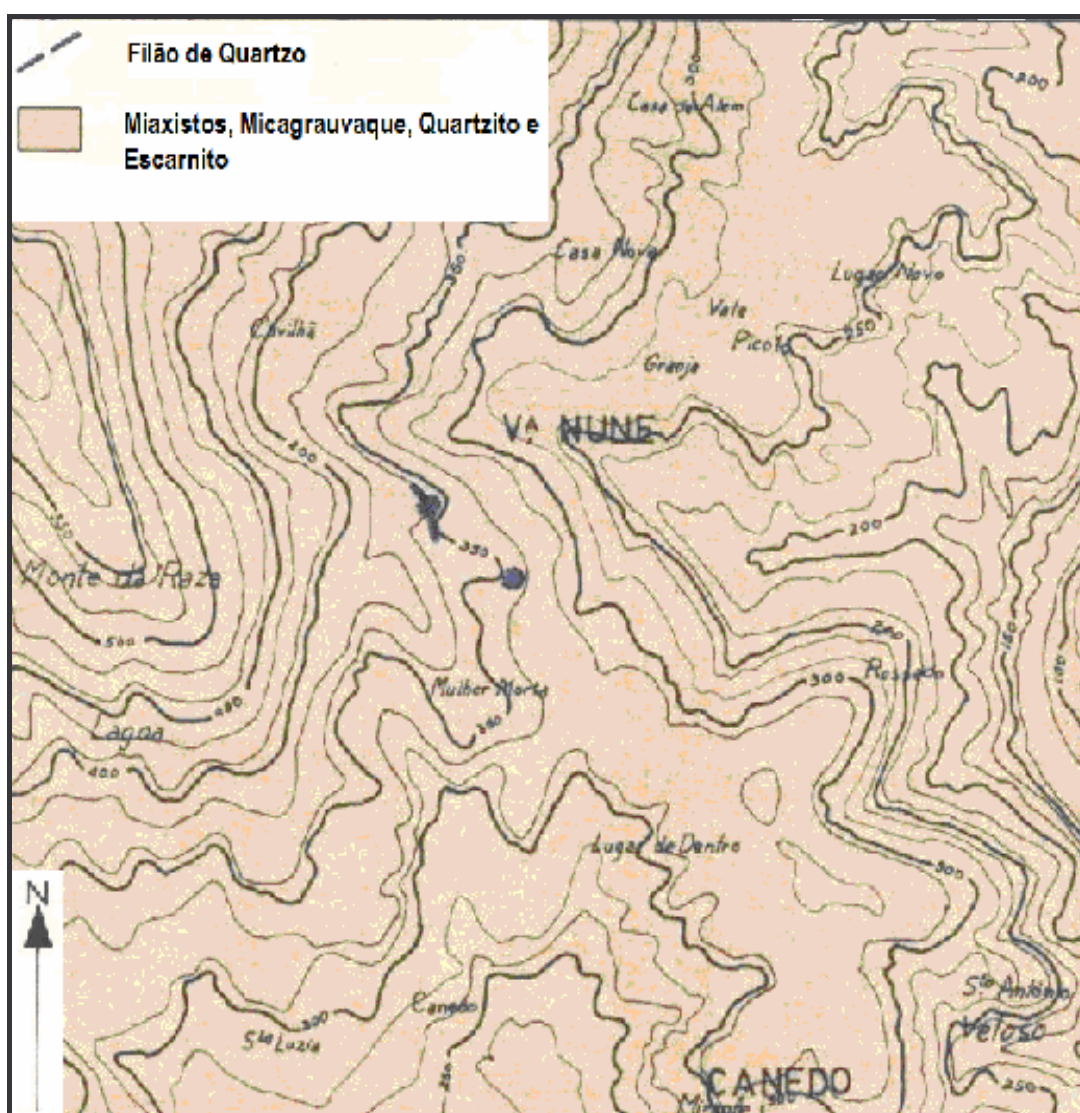


Fig. 66 – Filões de Quartzo de Vila Nune (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

No cimo de um morro deste local há os restos de um filão de quartzo, onde já funcionou uma exploração, pouco inclinado (cerca de 15°) e bastante erodido, que atravessou micaxisto. Trata-se de uma formação com dimensões aproximadas de 50mx50mx1 a 2,5m, correspondendo a cerca de 9400t de reservas á vista (fig. 66).

Para NW, à distância de cerca de 300m, existe um outro morro onde ocorre um filão de quartzo leitoso, tendo acessoriamente alguns sulfuretos e óxidos de ferro, que atravessa o micaxisto e quartzito, com possança de cerca de 3,00m, e onde existe uma pequena frente de exploração. O afloramento consegue seguir-se ao longo de 40m, e as reservas exploráveis a céu aberto estimam-se em cerca de 2300t. A amostragem foi realizada no afloramento do filão.

8.2.3.2 Valdegas (Boticas)

É visível um cabeço ao longo do qual há uma crista de quartzo, entre Vidago e Boticas, próximo ao km 106,00 da Estrada Nacional n.º311 e do cruzamento para o Senhor do Monte. Trata-se do afloramento de um filão de direcção N 62° W e pendor 47° SW, que corta o granito, e por vezes aparece também formando escarpa (fig. 67).

A possança do filão oscila entre 5 e 15m e o comprimento do afloramento é superior a 300m. Por vezes o filão subdivide-se, ficando lenticulas de granito entre os dois.

O quartzo apresenta-se cristalino e no geral é leitoso. Uma estimativa das reservas aponta para 60000 a 80000t. A amostragem efectuou-se ao longo do afloramento do filão.

8.2.3.3 S.^{ta} Maria de Emeres (Valpaços)

Próximo desta povoação ocorre um extenso filão de quartzo, com boa cristalinidade, de direcção N 30° - 40° E, pendor 57° - 80° para NW e com cerca de 5 km de comprimento. Forma crista de algumas elevações, como Cruzes 1.º, Alto da Torre, Lombo do Pendão e Alto do Tarreio (fig. 67), sendo no Alto da Torre e no Alto do Tarreio que o filão atinge maior possança.

O afloramento com o Alto da Torre como centro tem em diversos locais cerca de 30m de possança, mas pode considerar-se que numa extensão de 500 a 800 m a possança

média é da ordem dos 15 a 20 m, pelo que podem estimar-se reservas exploráveis a céu aberto na ordem das 600 000t.

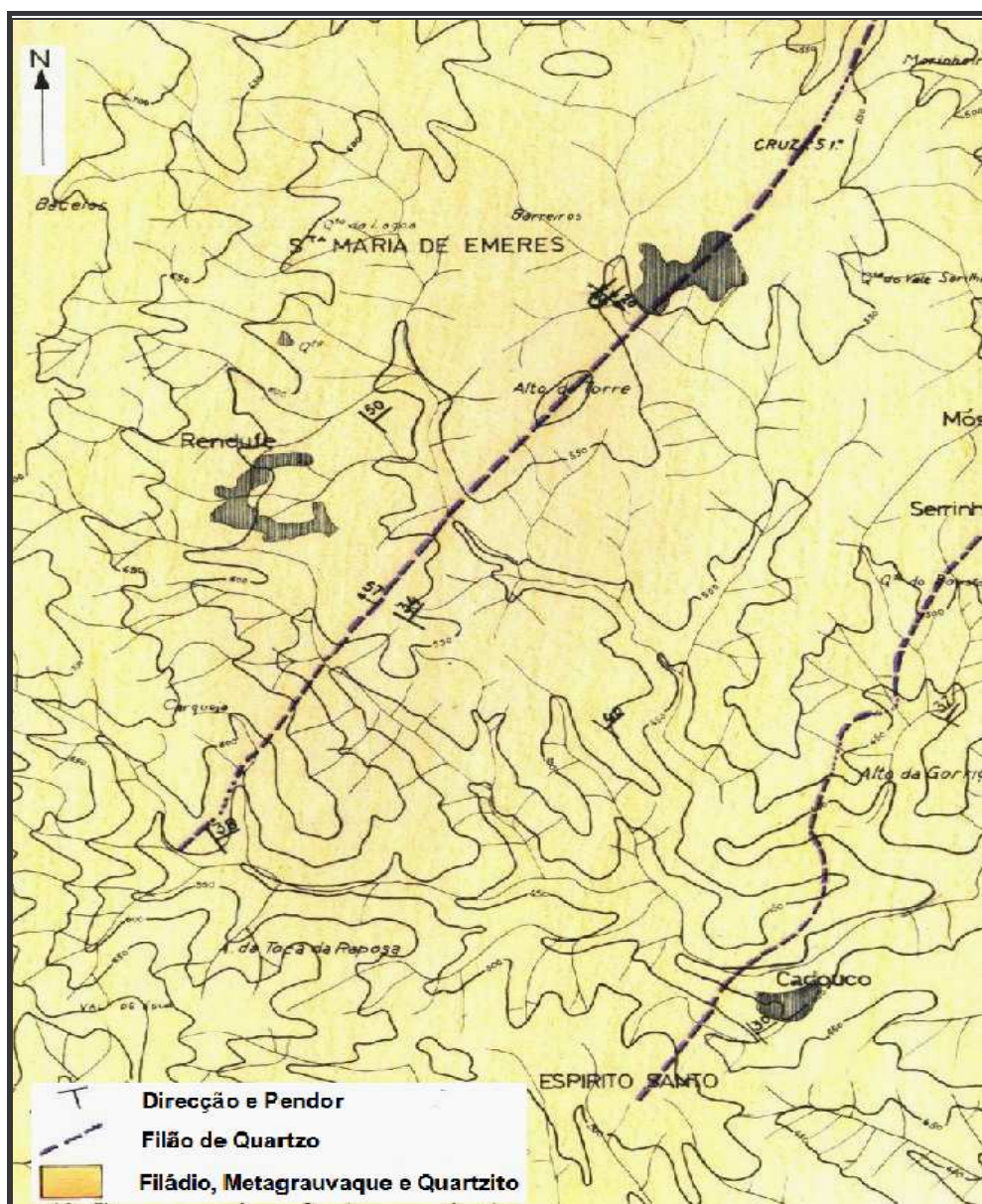


Fig. 67 - Quartzo de Sta. Maria de Emeres (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

8.2.3.4 Três Minas

Na região de Três Minas há dois filões de quartzo, com bom acesso pela estrada, mas que poderão estar dentro das concessões mineiras de ouro do couto mineiro daquele nome.

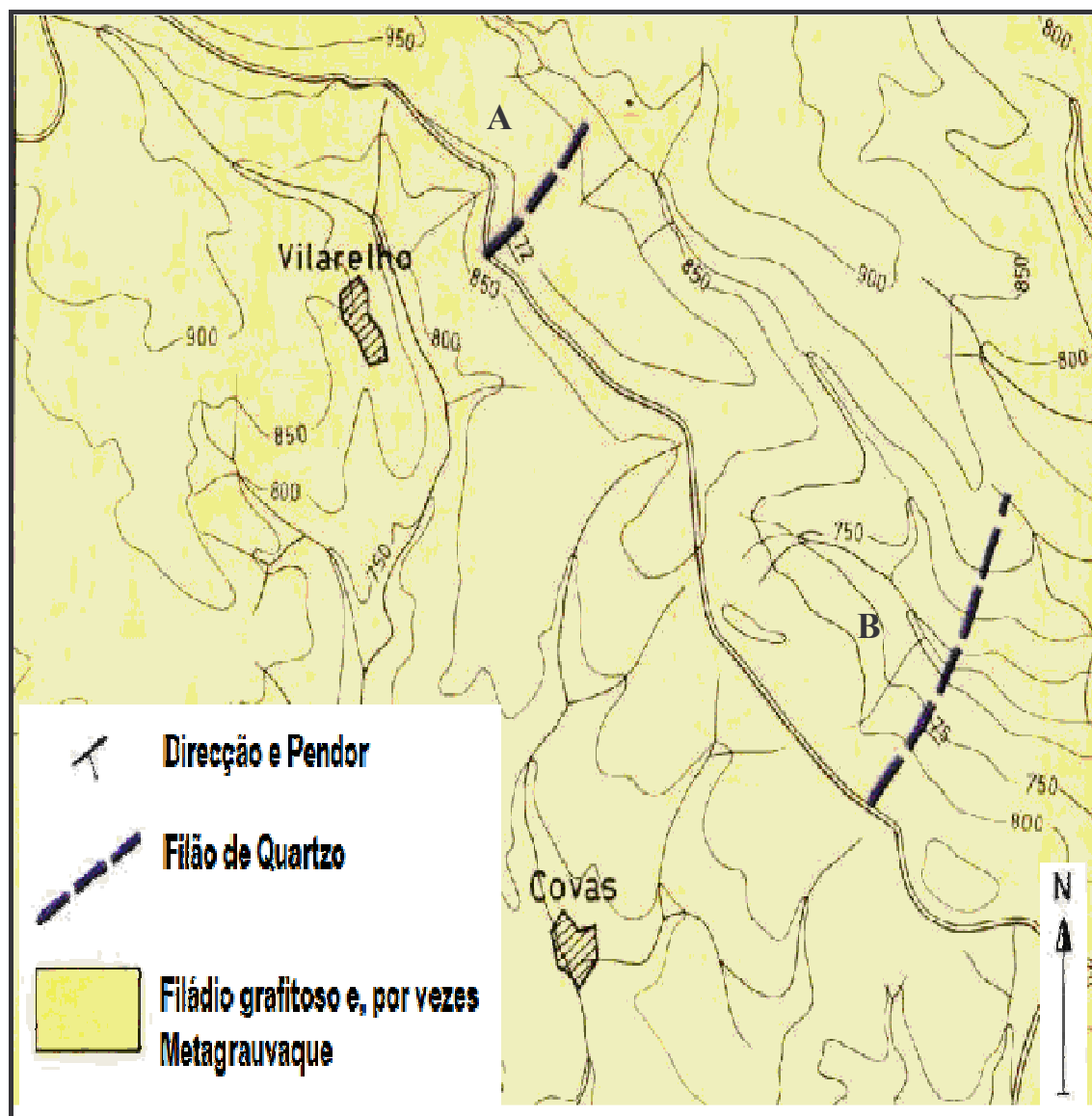


Fig. 68 – Filões de Quartzo de Três Minas (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Filão A

Um dos filões, na área florestal, denominado filão A, que corta filádio, metagrauvaque e ardósia, mostra quartzo de boa cristalinidade. Tem possança de 4 a 8 m, direcção N 40° - 50° E, pendor de 67° - 76° para SE e comprimento de cerca de 500 m e por vezes forma crista (fig. 68). É de crer que a maior possança se observe numa extensão de 300m e é nesta porção que as reservas exploráveis a céu aberto serão da ordem das 45 000t.

Filão B

O outro filão, denominado filão B, constitui a parede oeste da principal corta romana de Três Minas, corta também filádio e por vezes metagrauvaque, prolongando-se para SW e NE, com direcção N35°E, pendor 75° ESE a vertical, possança entre 3 e 7m e cerca de 900 m de comprimento (fig. 68).

Como a parede ocidental da corta romana corresponde ao espelho do filão e apresenta desníveis de 50 a 100 metros, o desmonte será fácil de efectuar numa distância de 150 m. Além disso, cerca de 100 m para SW serão também facilmente desmontáveis a céu aberto. As reservas serão da ordem das 100 000 t.

8.2.3.5 Ribeira de Joanes

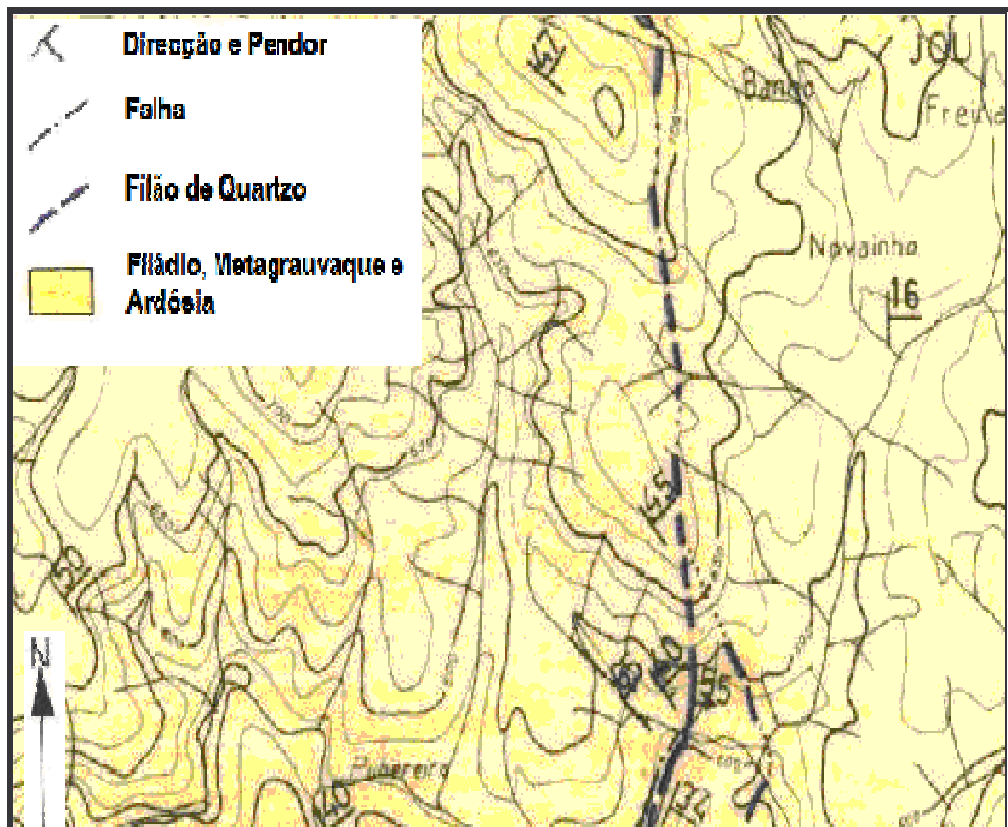


Fig. 69 – Filão de Quartzo da Ribeira de Joanes (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Um filão de quartzo que se apresenta erodido pela ribeira de Joanes, a SSW de Jou, é visível nas margens direita e esquerda da ribeira, com direcção N15°E e pendor 41° ESE (prolongando-se cerca de 350m para SW) e direcção quase N-S, respectivamente, cujos afloramentos se podem seguir numa extensão de cerca de 1600 m (fig. 69).

Julga-se que oferece mais interesse o afloramento da margem direita, com possança de 15 a 20 m; contudo não forma crista apreciável e apresenta por vezes alguns encraves do filádio que o filão corta, encraves que predominam no filão junto ao contacto com a rocha encaixante.

Considerando só o afloramento filoneano da margem direita, as reservas exploráveis a céu aberto serão próximas de 90000 t. A amostragem realizou-se num corte do filão.

8.2.3.6 Alto do Picoto (Valongo de Milhais)

Um filão que tem em parte carácter brechóide e com alguns encraves de xisto é cortado pela estrada nacional E.N. 311, cujo ponto central fica cerca de 1200m a NNW da povoação de Valongo dos Milhais. Apresenta quartzo de boa cristalinidade, leitoso e corta filádio grafitoso, com algumas intercalações de metagrauvaque, mostrando encraves destas rochas.

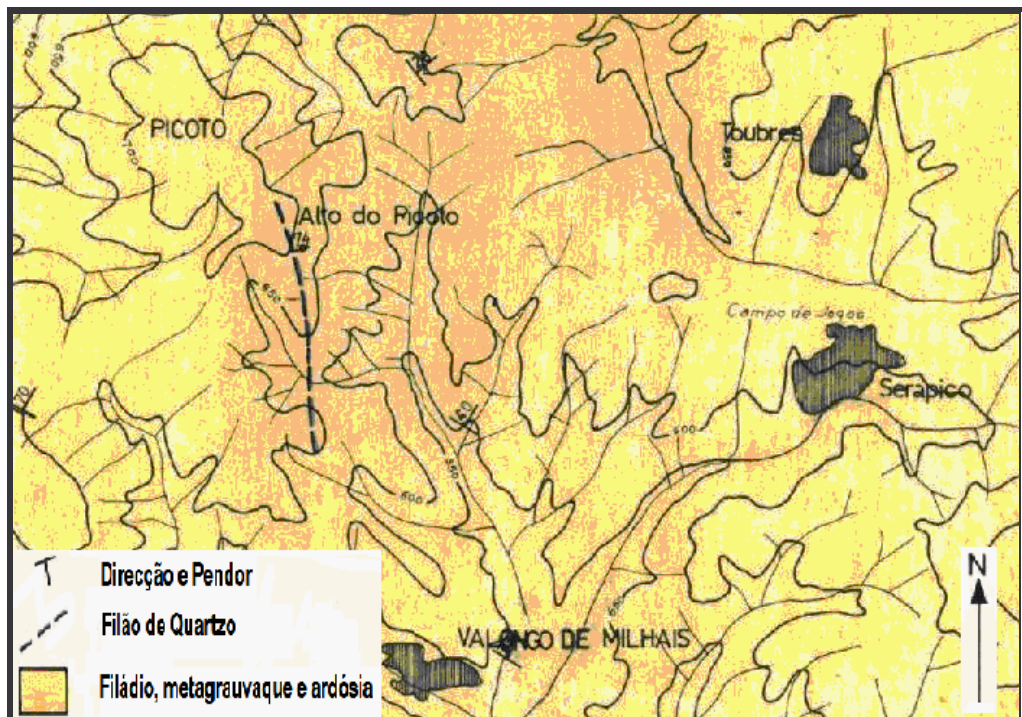


Fig. 70 – Quartzo do Picoto- Valongo de Milhais(Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

O filão tem direcção N 15° W, pendor 74° ENE a vertical, possança média de 20m e o comprimento de cerca de 900 m. Forma muitas vezes nítida crista no relevo (fig. 70).

As reservas que poderão ser exploradas a céu aberto corresponderão aproximadamente a 800000 t. A amostragem foi feita no corte da estrada.

8.2.4 Quartzo explorável a céu aberto em Monte Verde, S. Pedro das Águias, Várzea de Trevões, Ribeiro de Ribalonga, Castanheiro do Norte e Pombal

Com uma extensão superior a 90km, e direcção NNE – SSW a NE – SW, um grande filão de quartzo atravessa Trás-os-Montes e prolonga-se através de grande parte das Beiras, embora rejeitado por algumas falhas (Neiva, 1976-1977).

Em diversos locais a erosão diferencial fez sobressair no relevo uma crista constituída pela cabeça do filão de quartzo. Noutros locais a erosão dá relevo de “cuesta” segundo a inclinação do filão e num local, uma linha de água, profundamente encaixada, fez um corte imponente ao longo de uma porção do filão, onde se procuraram locais em que, pela sua morfologia, fosse possível a exploração do quartzo a céu aberto, em frentes altas e extensas.

8.2.4.1 Monte Verde

No marco geodésico Monte Verde há um possante filão aflorante de quartzo, que corta o granito de grão médio de duas micas e, no geral, bastante alterado, que se localiza a 2900 m em linha recta a SSW da capela românica de S. Pedro das Águias. Próximo e a norte do marco geodésico, com direcção N 20° E e pendor 57° NW (fig. 71), o afloramento do filão quartzoso tem possança de 30 m a 50 m numa extensão de cerca de 500m.

Depois da linha de água que borda por SW o Monte Verde, o filão vai adelgaçando, mas ainda poderá ter interesse económico nos 200 m seguintes. Continuando para SW passa a ter aspecto nitidamente brechóide e possanças menores, 7m a 2,5m, direcção N 20° E e pendor 54° - 67° NW; vê-se bem, por exemplo, na estrada nacional onde o seu aspecto é bastante brechóide e a possança de 7m. Naquela porção de filão de comprimento de 500m, podem admitir-se reservas da ordem das 500000 t exploráveis a céu aberto.

Cerca de 100m a SSW do marco geodésico de Monte Verde, o filão mostra uma ramificação de direcção N 20° E e pendor 65° NW e de 5m de possança junto da linha de água. A amostra foi colhida no afloramento mais possante.

8.2.4.2 S. Pedro das Águias

O possante filão do Monte Verde, próximo desta elevação, é cortado por uma falha de direcção N 20° E e caixa de 10m de possança. Embora com possança reduzida o filão continua para NNE com direcção NNE – SSW para, um pouco a SW da capela de S.^{ta} Bárbara, passa a quase N – S em direcção à igreja românica de S. Pedro das Águias (fig. 72).

O local de S. Pedro das Águias corresponde a um vale profundamente encaixado em que o rio Távora e a ribeira de Granjinha erodiram intensamente o filão, contribuindo para a formação de imponentes escarpas no quartzo. S. Pedro das Águias, tal como Monte Verde, situa-se entre Moimenta da Beira e Tabuaço, muito próximo de Paradela e Granjinha.

Na margem esquerda, próximo do rio, o filão que apresenta aspecto brechóide junto dos contactos, tem no muro direcção N 45° E, pendor 85° NW, no contacto com granito profundamente alterado, e no tecto, no contacto com o micaxisto, inclina 50° NW, vendo-se escarpa de 50m a 60m de altura no próprio filão.

Com as mesmas características, o filão prolonga-se cerca de 600 m para SW e apresenta possanças variáveis entre 20 m e 50 m, começando em seguida a adelgaçar e a tomar aspecto mais brechóide, com possança de cerca de 10m e a ter direcção N – S e pendor 55°W. É cortado por uma falha de direcção N 31° E, pendor 56° WNW e caixa de 0,60m.

O granito de grão médio de duas micas, que junto ao filão está muito alterado e passa a granito moscovítico é por ele cortado na margem esquerda. Ainda nesta margem, mas avançando para NE, do lado do tecto encontra-se micaxisto de direcção N55° - 70°W e pendor 33° - 65°NE.

Verifica-se que o filão se prolonga para a margem direita, onde tem possança de cerca de 30m, direcção N40°E e pendor 60°NW, mas carácter brechóide, sendo de crer que o seu interesse económico seja menor.

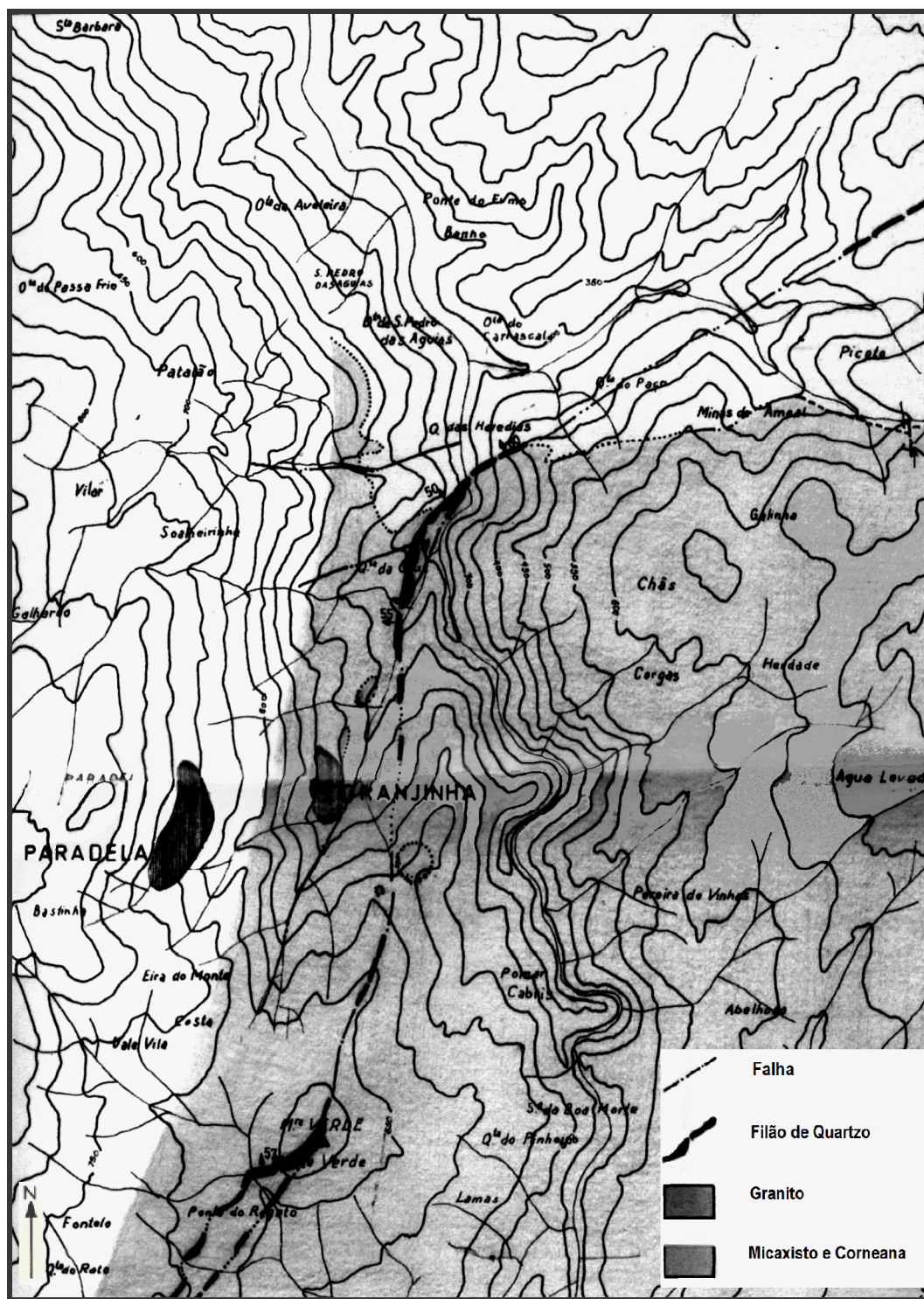


Fig. 71 – Filão de Quartzo de S. Pedro das Águas (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Contudo, só sondagens devidamente localizadas poderão permitir reconhecer se esse carácter é mais junto aos contactos com as rochas encaixantes, que, nesta margem, são

a muro, o granito bastante alterado e a tecto, o micaxisto de direcção N 55° W, pendor 33° NE. É bem nítido o relevo de “cuesta” segundo a inclinação do filão.

Continuando para NW, este encontra-se bastante erodido, mas vendo-se bem no Penedo dos Corvos. Junto do referido filão, mas um pouco a SE, nota-se, junto ao rio, um veio quartzoso dele dependente, um pouco brechóide, com possança de 0,50 m a 2 m, direcção N54°E e pendor 57°NW.

Foi feita uma incipiente amostragem no tramo de maior interesse do filão, colhendo-se pontualmente amostras de quartzo em diversos locais, para análise química. No local de S. Pedro das Águias, e considerando somente, na margem esquerda, a zona de 600 m em que o filão mantém as mesmas características, o quartzo fácil de desmontar a céu aberto poder-se-á estimar em 700000 t. Estimam-se em cerca de 200000 t as reservas de quartzo à vista na margem direita da linha de água, embora de difícil extracção.

8.2.4.3 Junto e próximo à foz do ribeiro de Ribalonga

O referido filão de quartzo continua visível na margem esquerda do ribeiro de Ribalonga, muito próximo do fundo do vale e numa extensão superior a 600 m, cujos afloramentos em crista se apresentam encaixados no granito, também cortado pela trincheira da linha do caminho de ferro e pelo rio Douro, vendo-se ainda, na margem esquerda deste rio, o afloramento numa extensão de cerca de 50 m (fig. 72).

A crista do filão, que tem direcção N 44° E, pendor 60° para NW e possança a variar entre 8 e 25 m formada por erosão diferencial na encosta, mostra cortes abruptos com 10 a 50 m de altura, virados ao ribeiro de Ribalonga, que permitem boas frentes de exploração a céu aberto numa extensão de, aproximadamente, 300 m a 600 m.

O filão é predominantemente constituído por quartzo leitoso, cristalino. São cerca de 300000 t as reservas de quartzo exploráveis a céu aberto. A pequena crista de margem esquerda do Douro pode representar reservas na ordem de 12000 t.

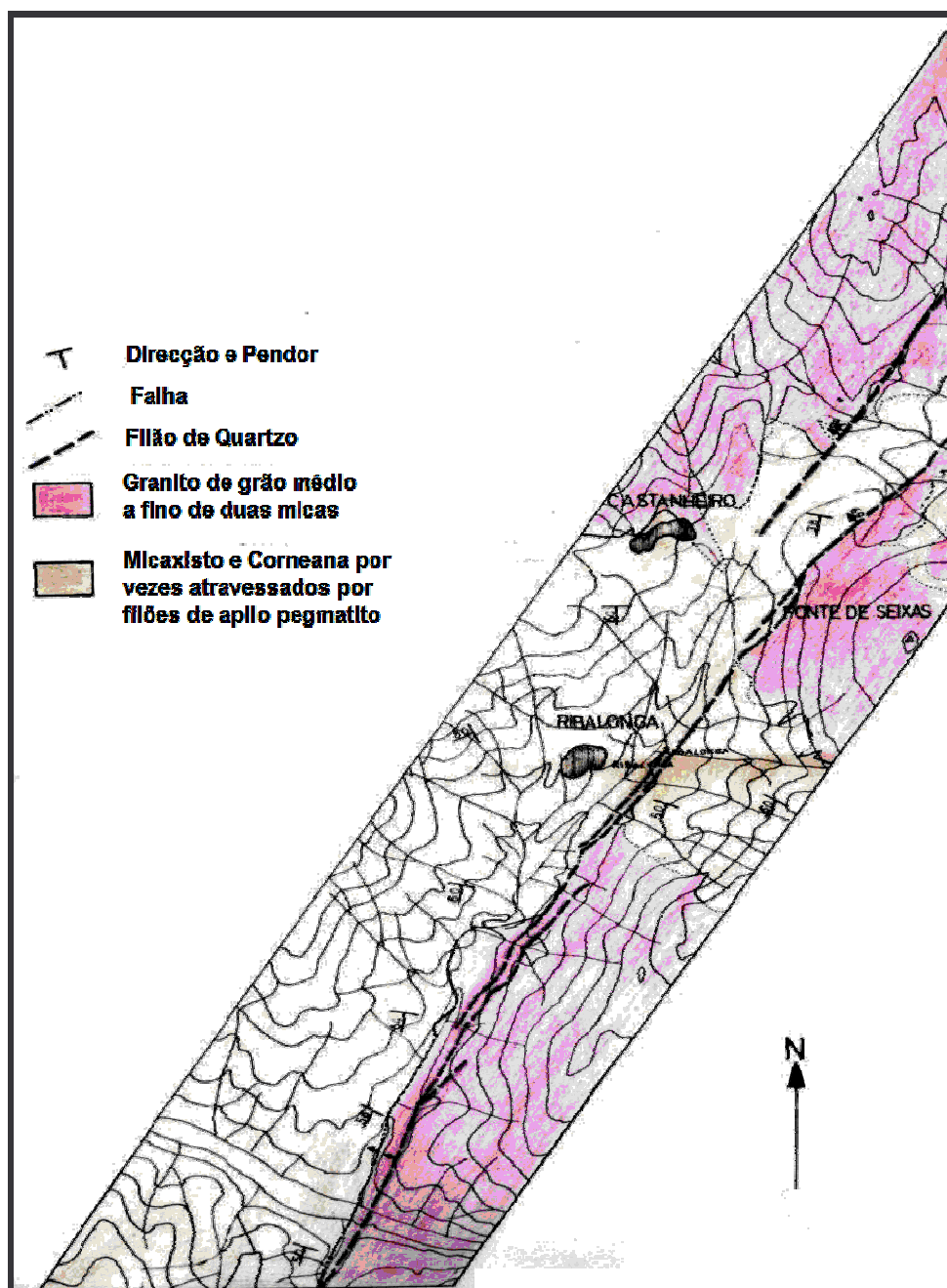


Fig. 72 – *Quartzo de Castanheiro do Norte de Ribalonga (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)*

8.2.4.4 Castanheiro do Norte

O filão de quartzo aflorante, encaixado no granito, constitui, por erosão diferencial, uma crista com cerca de 300 m de comprimento, de direcção NE – SW com escarpas de 10 a 30 m de altura viradas a NW, situa-se próximo da povoação de Castanheiro do Norte (fig. 72). A base do escarpado é quase plana, pelo que permite uma boa área de mina.

O filão tem, neste local, direcção N 50° - 60° E, pendor de 72° para NW e possança de 5 a 15 m. As reservas de quartzo à vista, que se podem facilmente explorar a céu aberto, podem estimar-se em 120000 t.

8.2.4.5 Outros locais onde o filão ainda pode oferecer interesse

Um dos locais é muito próximo a Pombal de Ansiães, a cerca de 1km antes de se atingir esta povoação por estrada. O filão forma a crista de um morro, sobressaindo relativamente pouco do granito, onde encaixa, que está muito alterado. Tem aqui direcção NNE – SSW, e para lá da linha de água que o corta forma um escarpado com 5 a 15 m de altura, no cimo do qual estão a fazer pequenas construções aligeiradas (fig. 73).

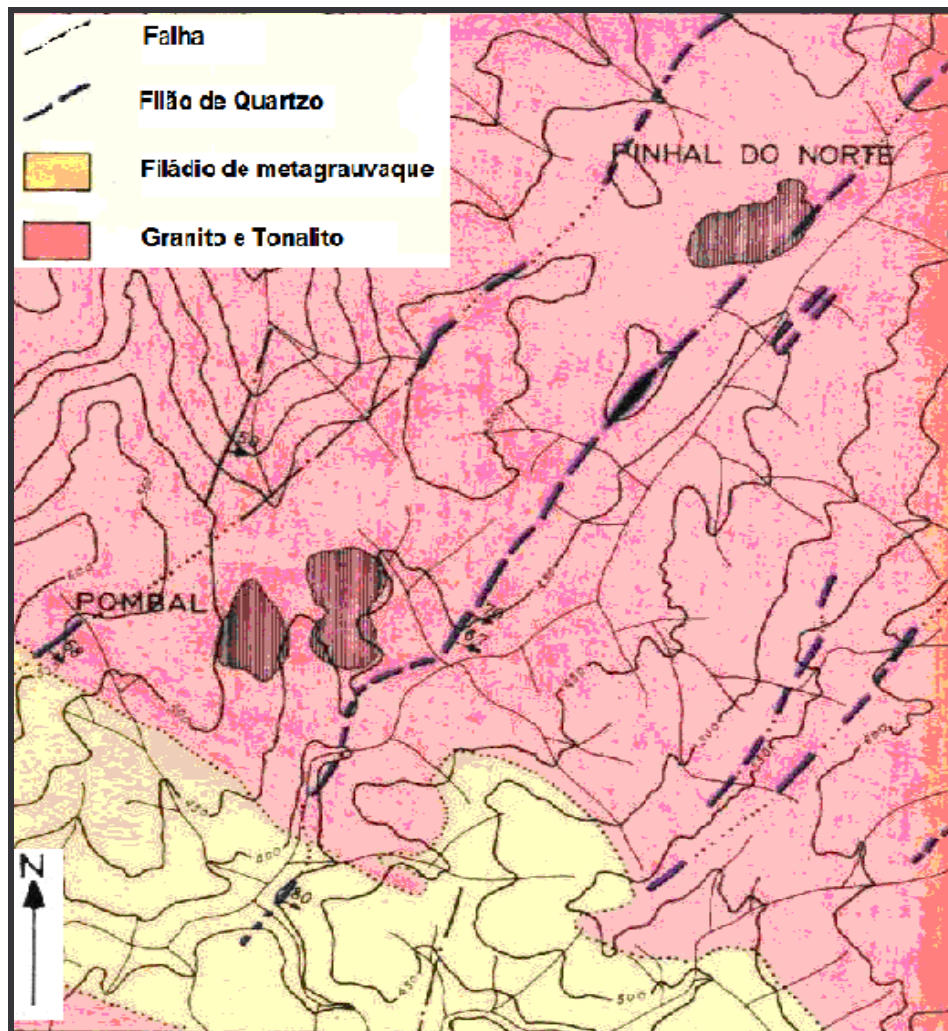


Fig. 73 – Filão de Quartzo entre Pombal e Pinhal do Norte (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Por isso só foi considerado o quartzo do morro que, devido à intensa alteração do granito, é susceptível de ser explorado a céu aberto numa altura de cerca de 15 m e numa

extensão de aproximadamente 80 m. O filão tem direcção N 10° - 15 E, pendor de 70° - 80° para ESE e possança de 8 a 15 m. O quartzo é cristalino, leitoso. Num corte do filão notam-se, por vezes, alguns encraves de granito alterado. As reservas possíveis de exploração a céu aberto estimam-se em 30000 t.

Em outro local, em Várzea de Trevões, também o filão forma uma crista muito semelhante à de Pombal e as reservas serão da mesma ordem de grandeza daquelas.

8.2.5 Quartzo de interesse económico nos concelhos de Mirandela e Alijó

Há numerosos filões de quartzo nos concelhos de Mirandela e de Alijó, a grande maioria de direcção NE – SW, a quase totalidade de pequena possança e localizados próximo de boas vias de comunicação. Segundo C. Neiva (1976) é possível localizar quatro desses filões cujas características se referem.

8.2.5.1 Carreira do Seixo (Frechas, Mirandela)

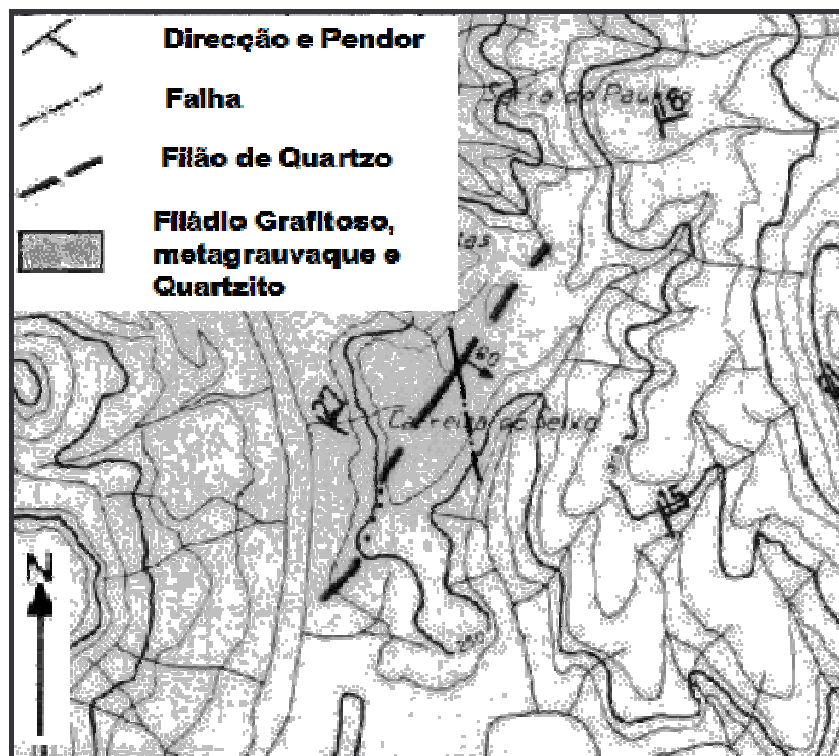


Fig. 74 – Filão de Quartzo de Frechas - Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.:1:25000)

Na região aflora filádio grafitoso, por vezes com lenticulas de quartzo. Atravessando este filádio há um filão de quartzo, um pouco brechóide no contacto com a rocha encaixante, de direcção N 20° - 35° E, e inclinação 65° - 82° ESE (fig.74).

A extensão do filão é de cerca de 700 m, com possança de 3 a 5 m, havendo uma porção com comprimento de cerca de 250 m e com 5 m de possança. Considerando somente esta porção, as reservas facilmente exploráveis a céu aberto são da ordem das 40600 t. A amostragem realizou-se ao longo do afloramento desta porção do filão. Em grande parte forma um saliente no terreno com 3 a 5 m de altura, podendo explorar-se com facilidade em profundidade, a céu aberto, pelo menos mais uns 10 m.

8.2.5.2 Lamas de Orelhão e Serralhões (Mirandela)

Há um campo filoneano quartzoso na região compreendida entre as povoações de Franco, Passos, Cobro, Navalho e o marco trigonométrico da Portela (figs. 75 e 76). São filões predominantemente de direcção NE – SW, na maior parte dos casos subverticais. De entre eles, pela sua possança, sobressaem o filão de Lamas de Orelhão e o filão dos Serralhões.

8.2.5.2.1 Lamas de Orelhão (Mirandela)

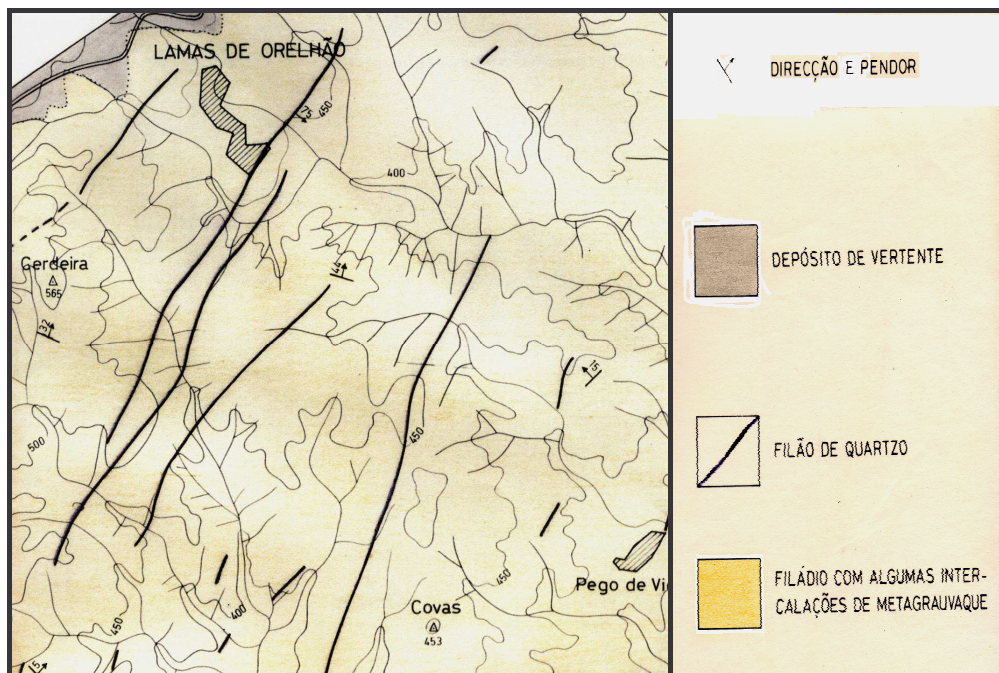


Fig. 75- Filão de quartzo de Lamas de Orelhão: Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Um filão de quartzo com cerca de 2800 m de comprimento, de direcção N 35° E e pendor 72° - 77° ESSE, encontra-se próximo da povoação de Lamas de Orelhão (fig. 75) e corta o filádio mais ou menos grafítico, apresentando-se ligeiramente brechóide no contacto imediato com a rocha encaixante.

Mas é a porção a NE daquela povoação que, pela sua possança, cerca de 10 a 20 m, oferece interesse económico e é constituída por quartzo leitoso de boa cristalinidade, formando uma crista com escarpado de 15 a 20 m de altura e cerca de 700 m de comprimento, sendo de fácil exploração a céu aberto. As reservas à vista, da referida porção do filão, estimam-se em pelo menos 350000 t. A amostragem realizou-se ao longo do afloramento.

8.2.5.2.2 Alto dos Serralhões (Pereira, Mirandela)

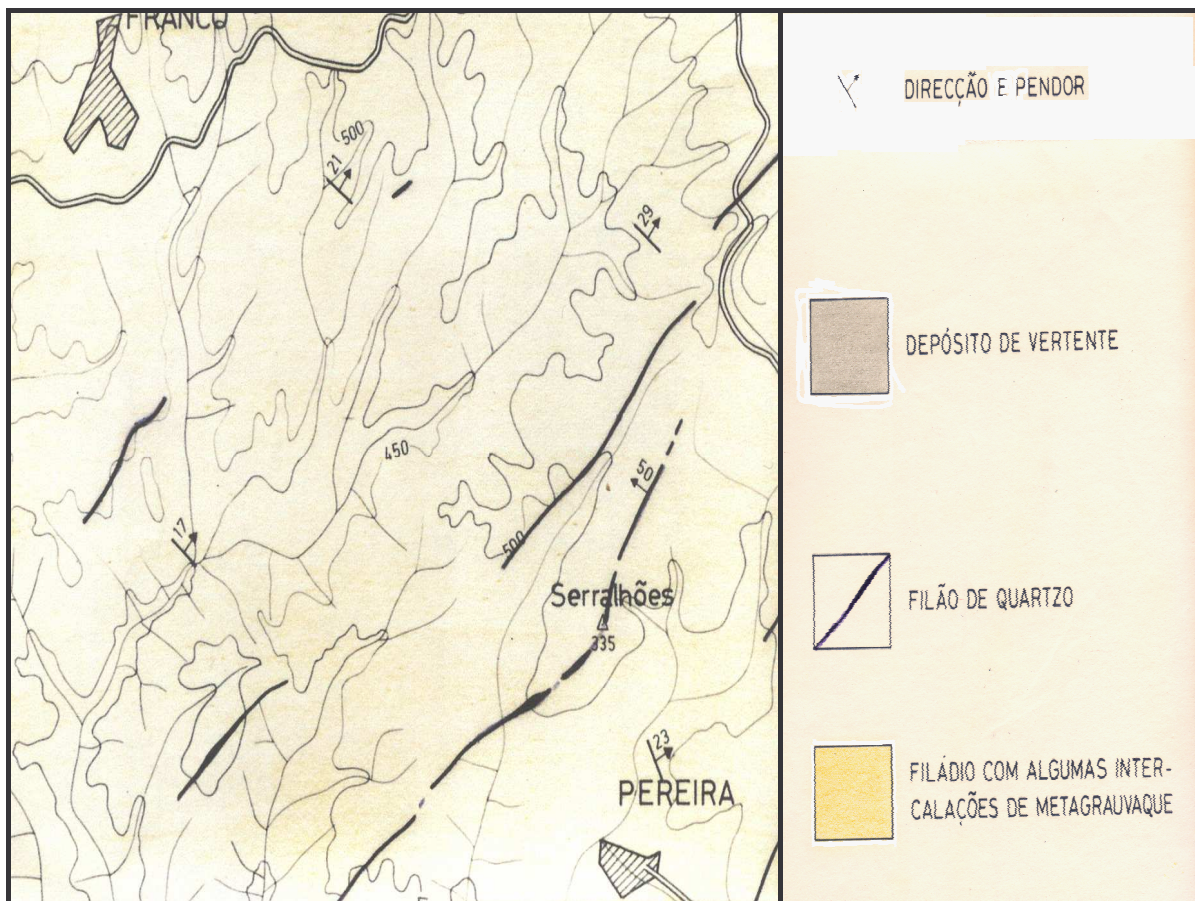


Fig. 76- Filão de quartzo do Alto dos Serralhões: Pereira/Mirandela (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Trata-se de um filão de quartzo, que corta o filádio grafitoso, e tem na Lameira do Seixo direcção NNE – SSW e pendor 50° WNW, e que desde o Alto dos Serralhões para SW passa a ser subvertical e a ter direcção NE – SW (fig.76).

É um filão de estrutura em grande parte lenticular, com lenticulas de apreciável possança (8 a 10 m) no Alto dos Serralhões e um pouco para SW; entre as lenticulas o filão tem 3 a 4 m de espessura.

O filão não dá crista muito pronunciada, mas reconhece-se no relevo e apresenta lenticulas exploráveis a céu aberto até profundidade de cerca de 10 m corresponderão a reservas da ordem das 56000 t. A amostra de quartzo foi colhida numa das lenticulas do jazigo.

8.2.5.3 Entre Favaio e Sanfins do Douro

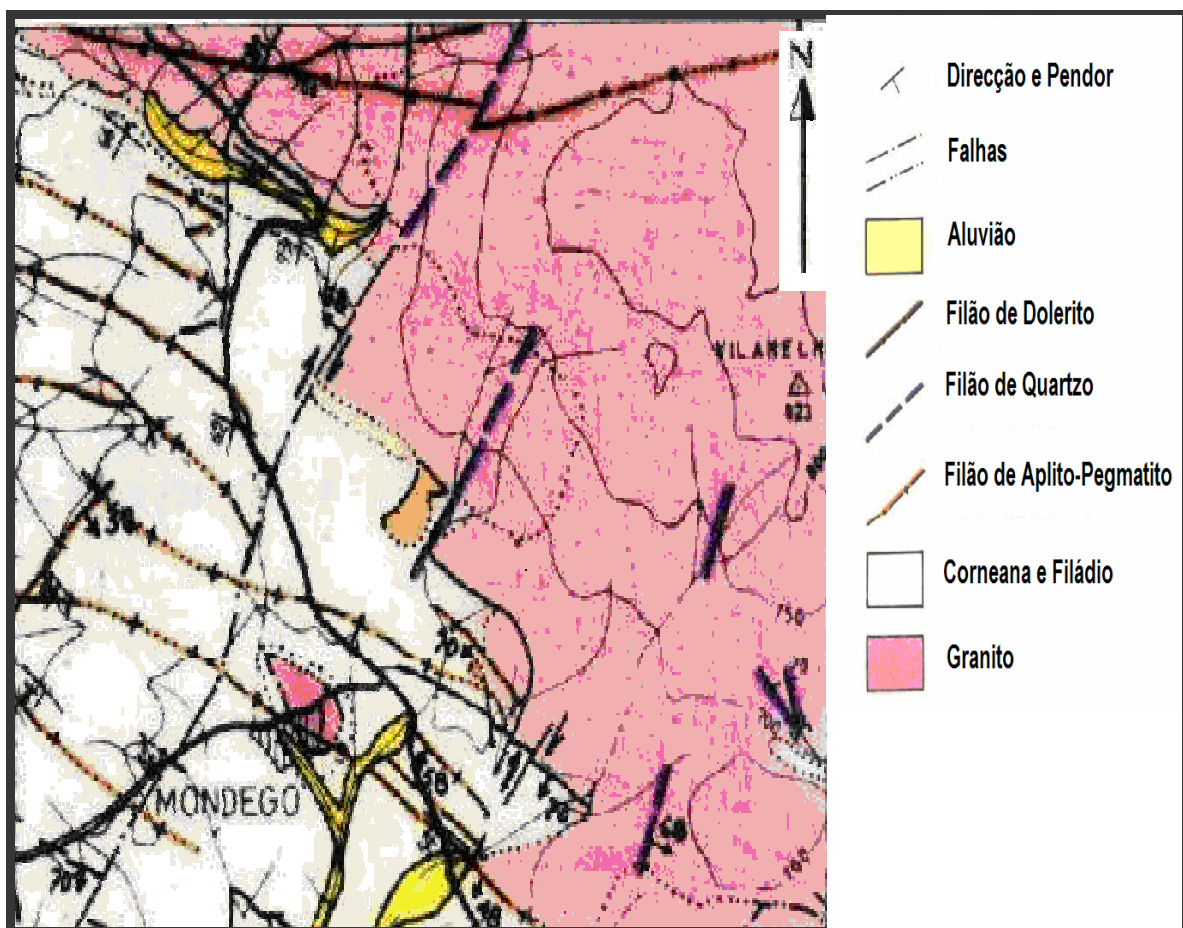


Fig. 77 – Filão de Quartzo entre Favaio e Sanfins do Douro (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.:1/25000)

Há um filão de quartzo um pouco brechóide junto ao contacto do granito que corta, entre estas duas localidades, próximo às Leiras do Vilarelho e de uma importante nascente de água que abastece a povoação. Para SW este filão situa-se no contacto do granito com filádio (fig. 77).

O filão tem direcção N 28° E e inclina 68° para WNW. É entre o morro, onde a crista do filão está bem marcada, e a linha de água situada imediatamente a Norte que o filão tem maior possança (7 a 8 m) numa extensão de cerca de 400 m, adelgaçando para NE e para SW. Na porção onde o filão tem maior possança, poder-se-á contar com 84000 t exploráveis a céu aberto.

8.2.6 Depósito de Freches

Este depósito está situado junto da localidade de Freches, próximo do lugar de Seixo, Concelho de Celorico da Beira, Distrito da Guarda, e apresenta-se assinalado na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 18-A, na zona de transição entre duas manchas graníticas (fig. 81).



Fig. 78- Vistas parciais do afloramento de quartzo de Freches

Na referida carta, as manchas graníticas aparecem designadas por granito porfiróide de grão grosseiro e granito porfiróide de grão médio a fino, respectivamente.

Trata-se de um filão quartzoso, com quartzo branco leitoso, cujo afloramento é visível ao longo de poucas centenas de metros (figuras 78 e 79).



Fig. 79- Quartzo do depósito de Freches

A figura 80 representa uma vista geral do depósito de Freches.



Fig. 80 – Vista geral do depósito de Freches

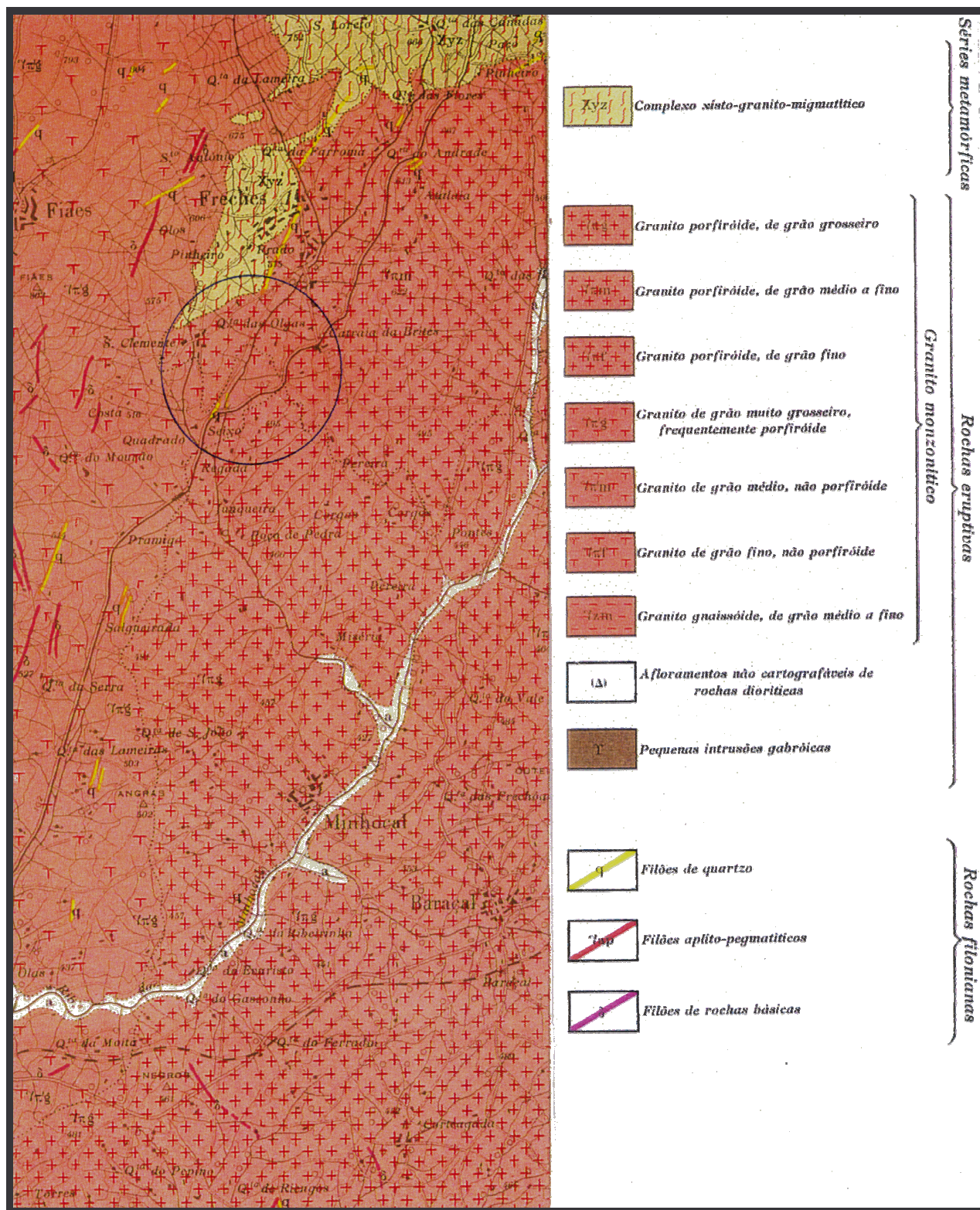


Fig. 81- Localização do depósito de Freches (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Fornos de Algodres, folha 18A)

Foram retiradas deste depósito amostras de quartzo com as referências F1, F2, F3, F4, F5 e F6.

8.2.7 Filão de Quartzo da Ladeira ou Seixo 2° (Moimenta da Beira)

Próximo ao cruzamento da estrada da barragem de Vilar com a estrada de Moimenta-Tabuaço há uma crista de um filão de quartzo onde se localiza o marco geodésico Seixo 2° (fig.82).

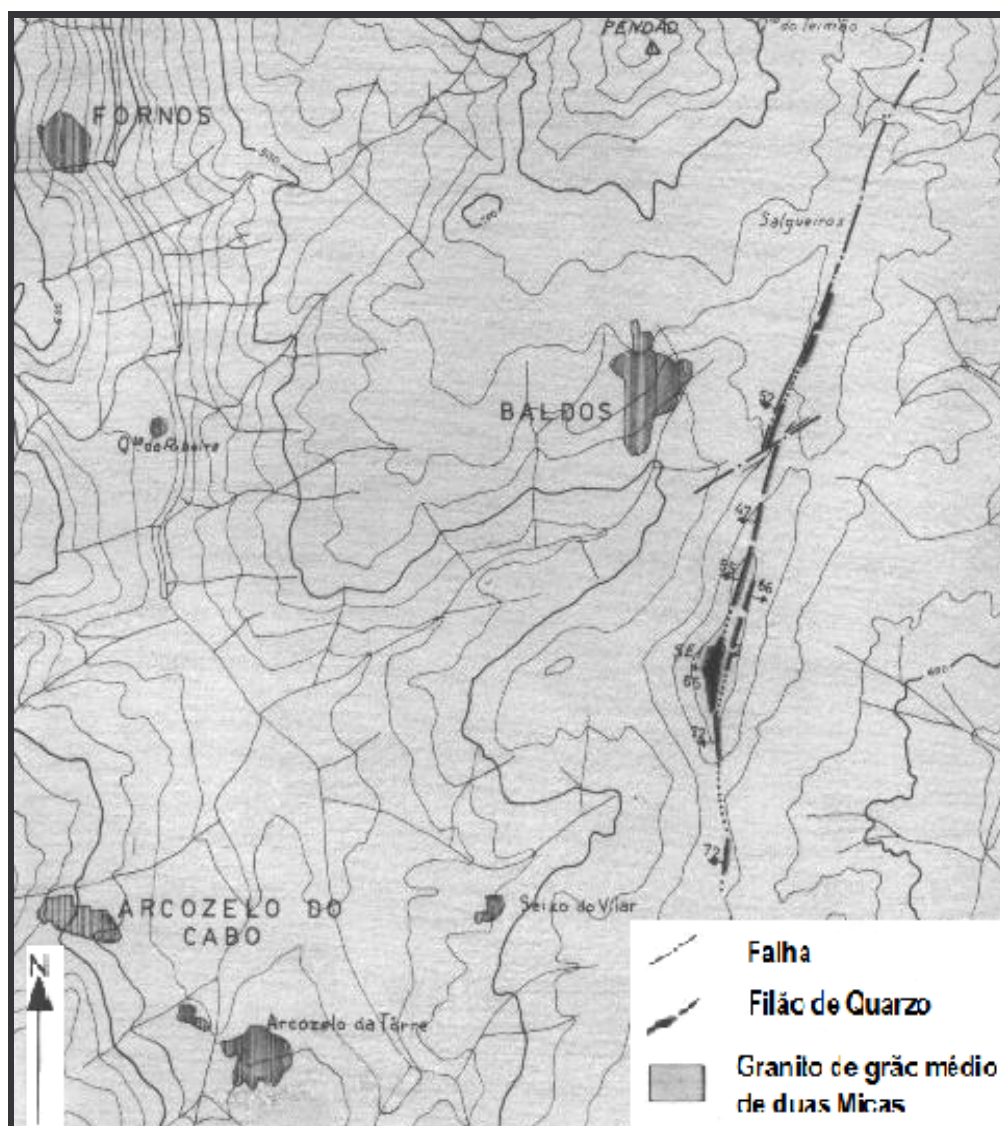


Fig. 82 – Quartzo da Ladeira - Moimenta a Beira (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

O filão corta o granito e tem cerca de 1900 m de comprimento, direcção N10°- 35°E e pendor entre 47° e 52° WNW na porção norte e direcção N10°W e pendor entre 65° e 72°W na porção sul (Neiva, 1976-1977).

Do norte para o sul o afloramento do filão nos primeiros 500 m não parece oferecer interesse económico pelo seu carácter brechóide. Depois há 300 m em que o filão tem bom aspecto, o quartzo cristalino parece maciço, pende 55° para WNW, tem possança de 10 m e forma escarpa com 5 a 10 m de altura.

A seguir, em cerca de 180 m, o filão deixa de se ver. Continuando para sul e numa extensão de 340 m, o filão oferece boas características quanto ao quartzo, possança de 10 a 30m, pendor de 65° - 72° W e escarpa de 10 a 20 m de altura; é neste tramo que assenta o marco Seixo 2°.

O filão ainda se nota para sul numa extensão de cerca de 570 m, com possanças de 2,50 m a 0,50 m e pendor de 72°W. O filão é cortado a norte por uma falha de direcção N60°E, que rejeita em cerca de 25–30m o bloco situado mais a norte e provocou a sua descida.

Nos dois tramos do filão que oferecem interesse económico, poder-se-ão explorar a céu aberto reservas de quartzo de aproximadamente 300000 t.

8.2.8 Depósito de Vilar Formoso (Atalaia)

A geologia local é de natureza granítica e apresenta junto à fronteira algumas manchas xistosas. São visíveis, também, na mesma área inúmeros filões do tipo quartzoso, pegmatítico ou aplítico e outros ainda de natureza básica.

Salienta-se, também, a existência de várias manchas correspondentes a depósitos ceno-antropozóicos de cobertura, constituídos essencialmente por material aluvionar e depósitos arcósico-argilosos e cascalheiras.

Na área dos depósitos arcósico-argilosos são visíveis pequenos afloramentos de granito, de grão médio a fino, não porfíroide e com mega cristais de feldspato bem dispersos, para além de mineralizações de volframite nos filões de quartzo, cuja direcção preferencial é NE - SW.

Trata-se de um afloramento de quartzo, onde também se pode observar algum feldspato, que se apresenta muito fracturado e com bolsadas de material com um grau de alteração significativo, do tipo argiloso. O quartzo exhibe alguma contaminação resultante da impregnação de óxidos de ferro nas fracturas existentes.

O quartzo apresenta-se em camadas de pequena espessura, que conforme se confirmou nas sondagens mecânicas realizadas, não ultrapassa a dezena de metros. Uma primeira avaliação aponta para a possibilidade de extracção de cerca de 50 000 toneladas de quartzo susceptíveis de aplicação no sector decorativo ou produção de agregados, com aplicações diversas.

A figura 83 representa em esquema a área estudada, com indicação das sondagens realizadas, cujos “logs” se encontram no anexo 2.

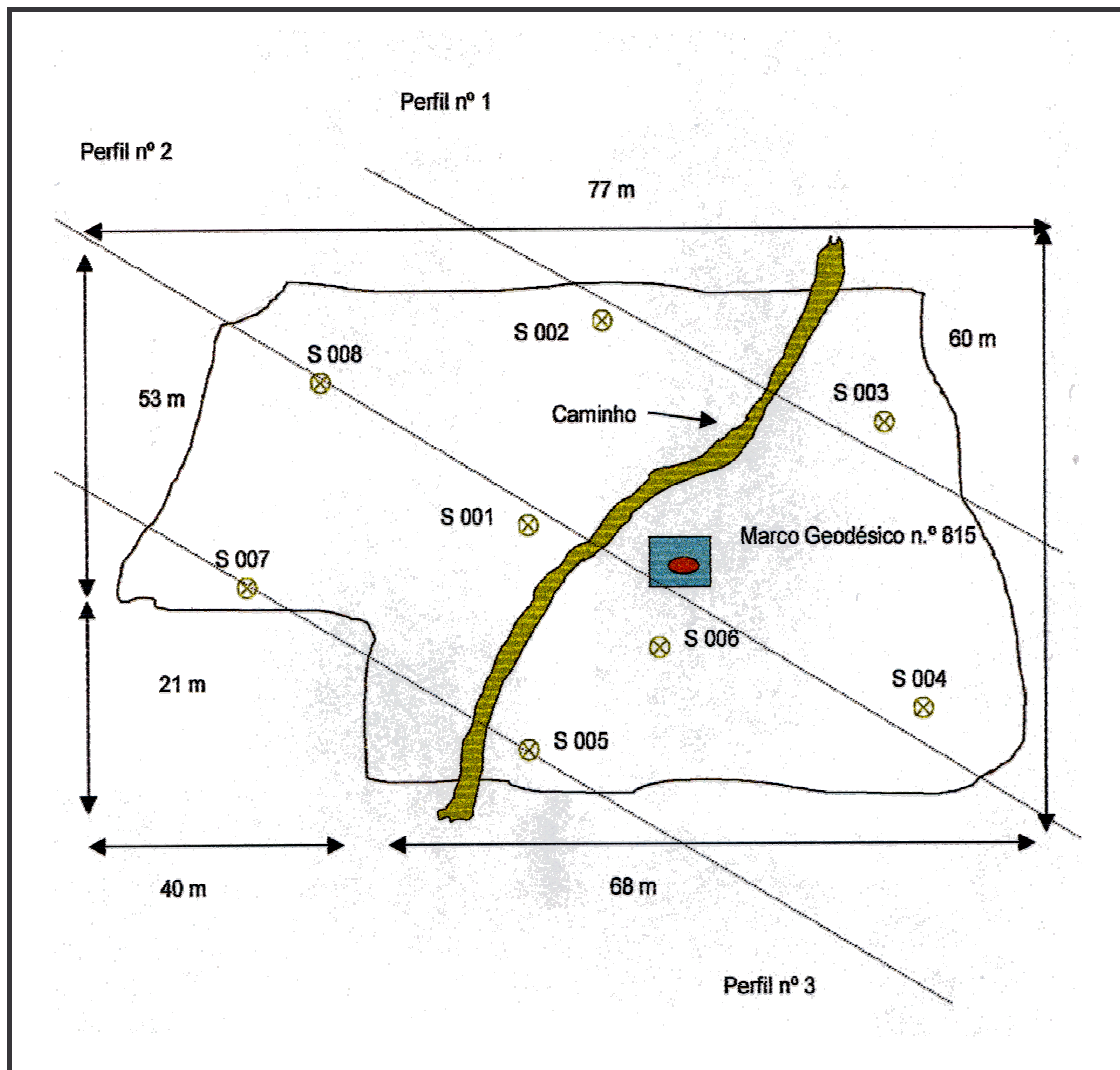


Fig. 83- Localização (esquemática) das sondagens no depósito de Vilar Formoso (sem escala) (Euroquartzo, 2000)

O enquadramento geográfico está representado na figura 84.

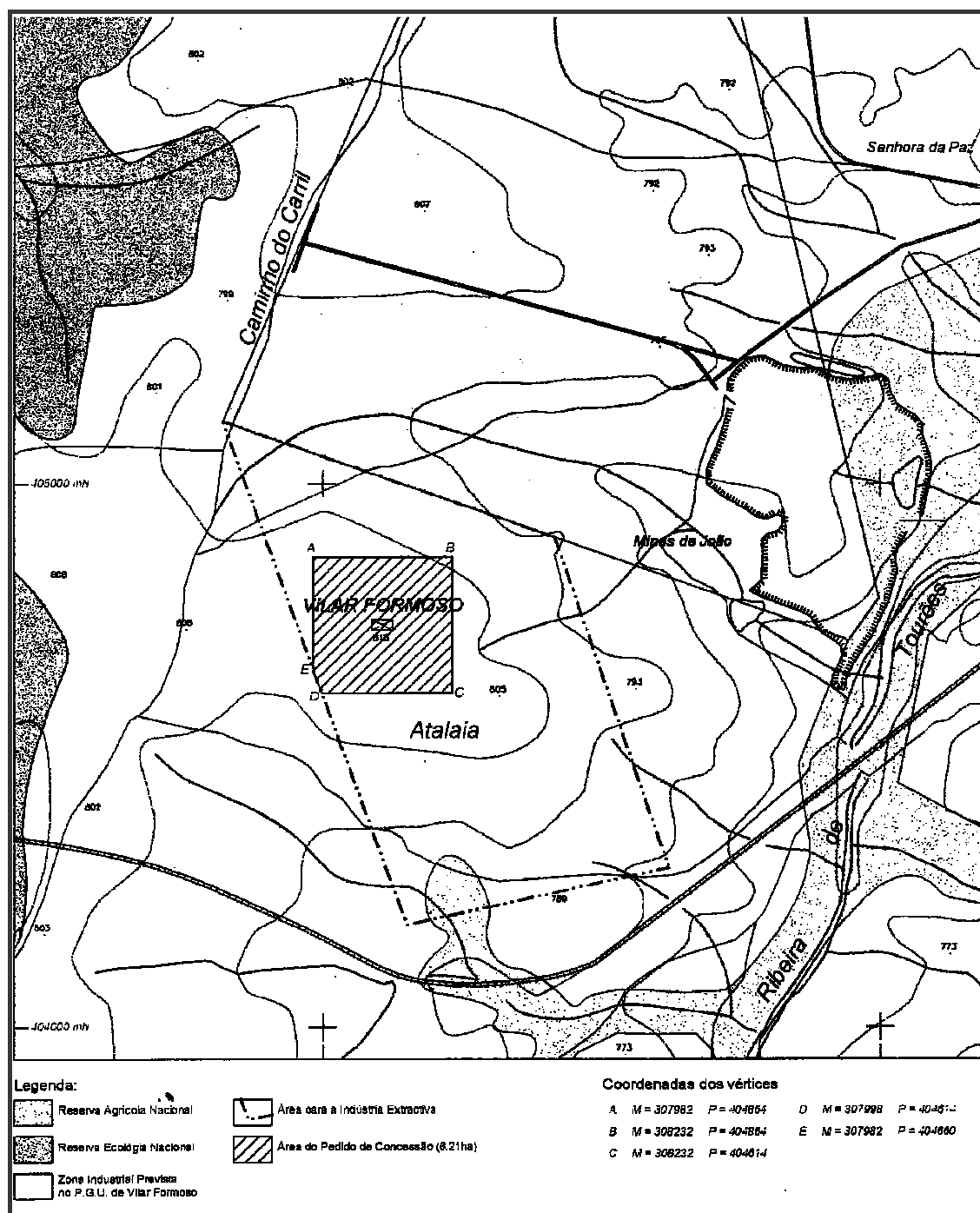


Fig. 84- Enquadramento geográfico do depósito de Vilar Formoso (Esc.: 1/10000) (Euroquartzo, 2000)

8.2.9 Depósitos de Aldeia Nova (Senhora da Assunção) e Poço Palheiro

Esta área apresenta evidências de antigas explorações de feldspato e quartzo, das quais algumas ainda se encontram em laboração, e encontra-se assinalada na figura 85 como zona de filões e massas de aplito pegmatítico, na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 14-D (Aguiar da Beira).

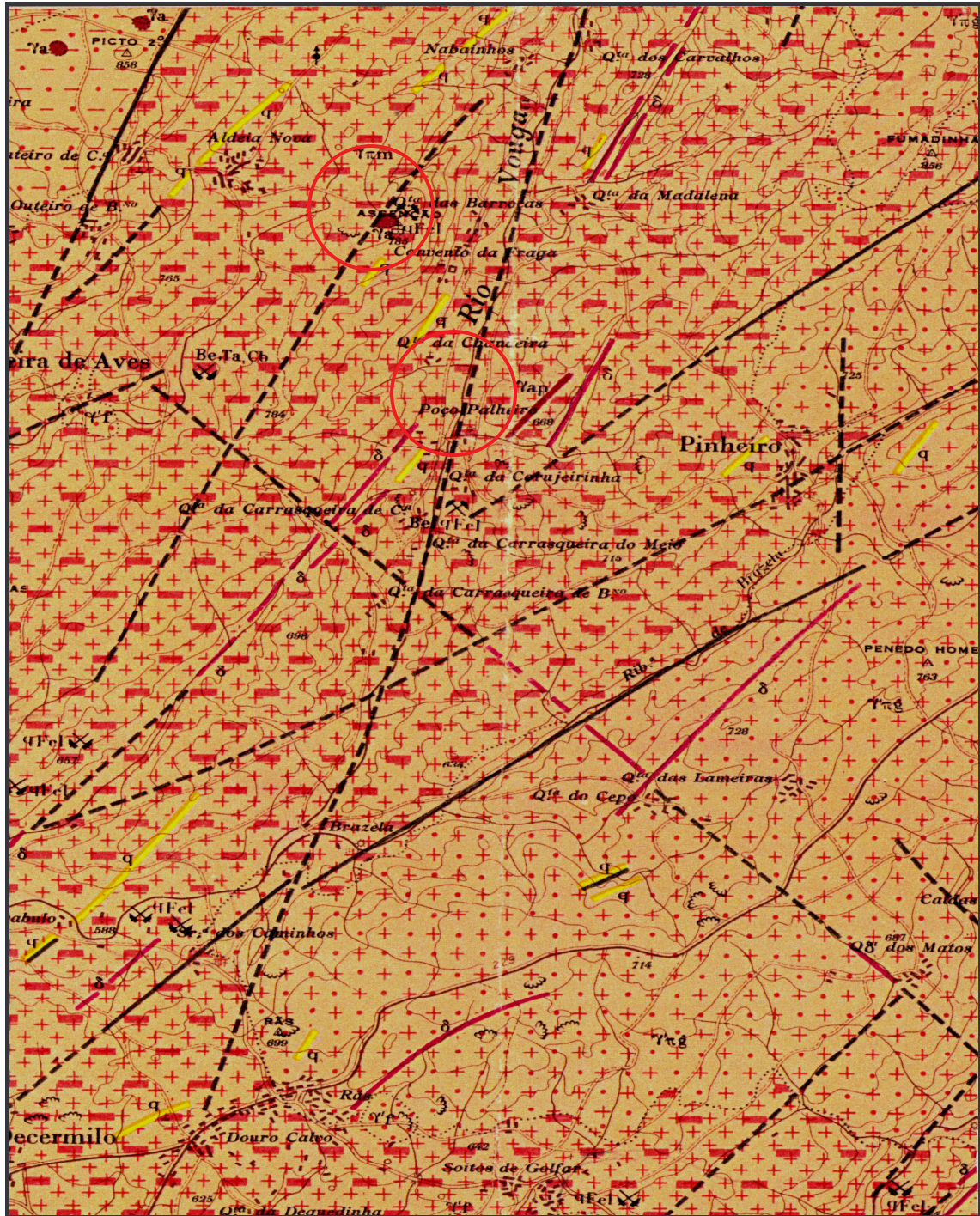


Fig. 85 - Localização da área do depósito da Sr.^a da Assunção e Poço Palheiro (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Aguiar da Beira, folha 14D)

De acordo com a folha 14-D, da Carta Geológica de Portugal, o depósito em estudo encontra-se na área de granitos designados de calco-alcinos porfiróides predominantemente biotíticos, de grão médio a grosseiro, e de megacristais com dimensões compreendidas entre 4 e 10 cm.

São também referenciados na mesma folha afloramentos de granitos porfiróides e biotíticos de grão fino, incluídos no granito porfiróide médio a grosseiro, discordantes e com foliação de carácter magmático, que acompanha a orientação dos contactos.

Relativamente ao enquadramento regional e geometria das estruturas filoneanas a área em questão faz parte do grande maciço granítico das Beiras e do Minho, de contornos bastante irregulares devido à natureza tardia em relação à orogenia hercínica da grande parte dos granitos que a formam, pelo que constitui uma mancha bastante complexa.

A cartografia realizada assenta essencialmente na textura e na mineralogia, complementada pela distinção de duas séries geoquímicas alcalina e calco-alcalina, não se verificando contudo uma relação clara entre estes critérios e a cronologia das intrusões, por um lado, e as manifestações pegmatíticas e hidrotermais de interesse económico, por outro.

Uma outra abordagem iniciada pelos trabalhos de L.J.G. Schermerhorn (1956) e por Oen Yng Soen (1958) na região de Viseu utiliza, além dos critérios cronológicos aplicáveis nos contactos, a orientação preferencial dos minerais, a qual está relacionada com as tensões prevaletentes durante o arrefecimento e *a fortiori* com a cronologia relativa à evolução da orogenia e com a localização e geometria das concentrações de minerais úteis.

Na região em torno dos depósitos da Sr^a da Assunção e Poço Palheiro, na qual são particularmente frequentes os pegmatitos e depósitos metálicos associados aos granitos, os elementos cartográficos desta natureza pouco ultrapassam os que figuram nos mapas publicados pelos referidos autores.

O depósito pegmatítico da Senhora da Assunção, actualmente em lavra, que é composto por dois corpos acoplados segundo uma configuração em haltere (figura 86), de orientação N20°E, susceptíveis de aplicação no sector cerâmico por apresentarem quantidades significativas de quartzo e feldspato, no núcleo e bordadura, respectivamente.

A mineralização associada integra metalizações primárias Be>>Nb>Ta>Ti, Mo e Li em unidades lepidolíticas, pseudomórficas após a substituição da pertite, segundo Leal Gomes *et al* (1997).

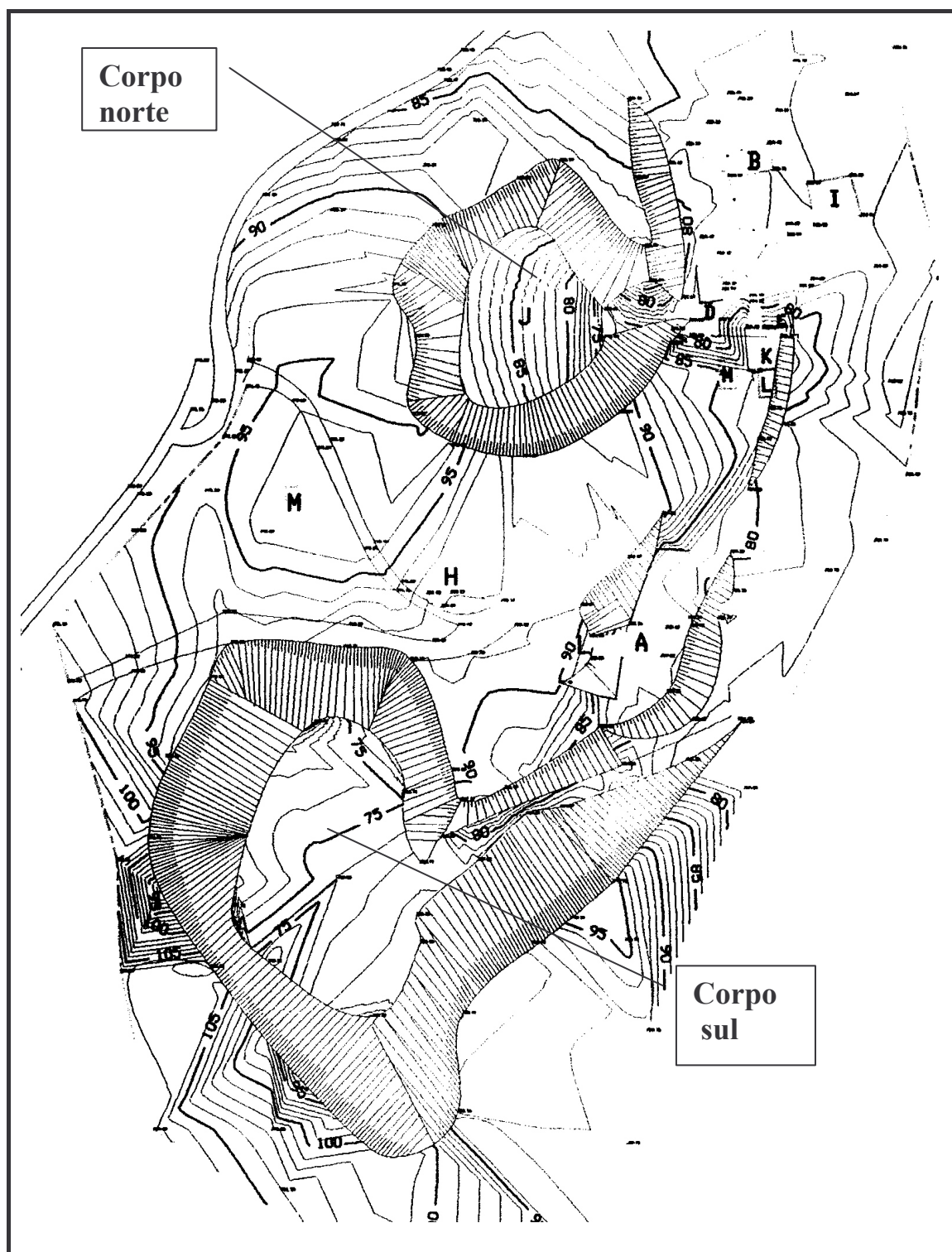


Fig. 86- Planta dos corpos norte e sul do depósito da Senhora da Assunção

As figuras 87 e 88 representam os corpos norte e sul do referido depósito.



Fig. 87 – Vista do corpo Norte do depósito da Sr.ª da Assunção



Fig. 88- Vista do corpo Sul do depósito da Sr.ª da Assunção

O urânio ocorre em fracturas e cavidades sob a forma de uraninite primária, remobilizada para autonite e torbernite secundárias, ocorrendo também berilos (esverdeados, azulados e amarelados) de dimensões apreciáveis (fig. 89).

Ainda segundo os mesmos autores trata-se de um depósito pegmatítico de composição granítica residual, de estrutura interna zonada e contactos gradacionais com o granito e um posicionamento intra-plutónico, cupular, tendo por encaixante uma fácies granítica de granularidade grosseira.

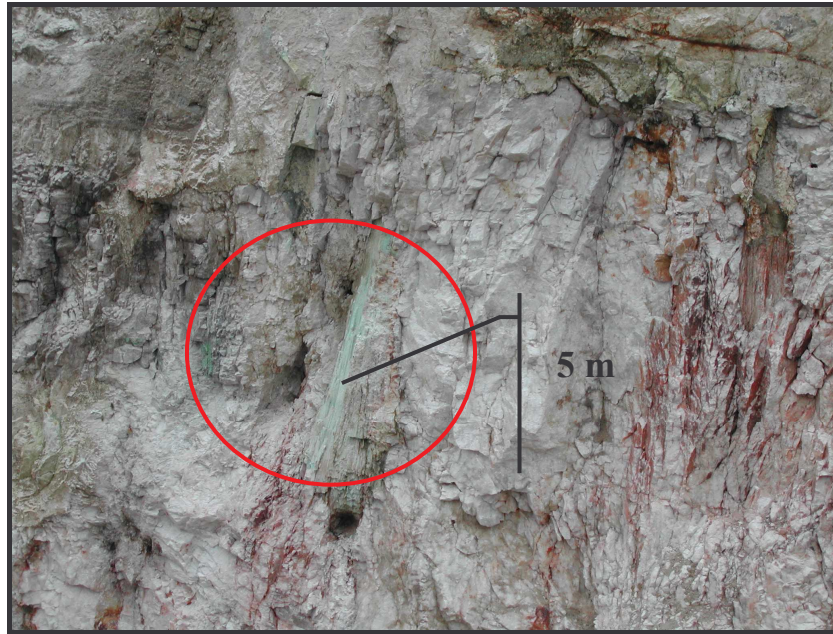


Fig. 89- Gigacristal de berilo visível numa frente de desmonte do corpo sul

Segundo Trabulo *et al.* (1995), as estruturas típicas da cristalização de diferenciados residuais após sobressaturação e eventual imiscibilidade fluida, representam a proximidade da cúpula do plutonito. Ocasionalmente, ocorrem estruturas em “stock sheider” de cúpula. Os xenólitos predominantes são sobremicáceos. Os corpos pegmatíticos podem concentrar-se em enxames constituídos por corpos isolados, acoplados ou em rosário.

Como se pode observar na figura 90 os enxames com maior concentração de pegmatitos são o de Sezures-Dornelas e o de Trancozeos-Travanca de Tavares, situando-se a grande maioria destes num granito porfiróide de grão grosseiro essencialmente biotítico, enquanto o grupo da Senhora da Assunção se encaixa num granito de grão médio.

A figura 91 evidencia as litologias e índices pegmatíticos na vizinhança do referido depósito, constatando-se a predominância de rochas de cariz granítico, que se distiguem por exibirem variações de textura, granularidade e modo de ocorrência.

Na figura 92 estão representadas as estruturas frágeis da zona envolvente da Senhora da Assunção, cujo alinhamento principal corresponde ao vale do rio Vouga, onde as falhas menores apresentam uma orientação NNE-SSW, estrutura esta que pode considerar-se como a grande condicionante para a instalação dos corpos pegmatíticos.

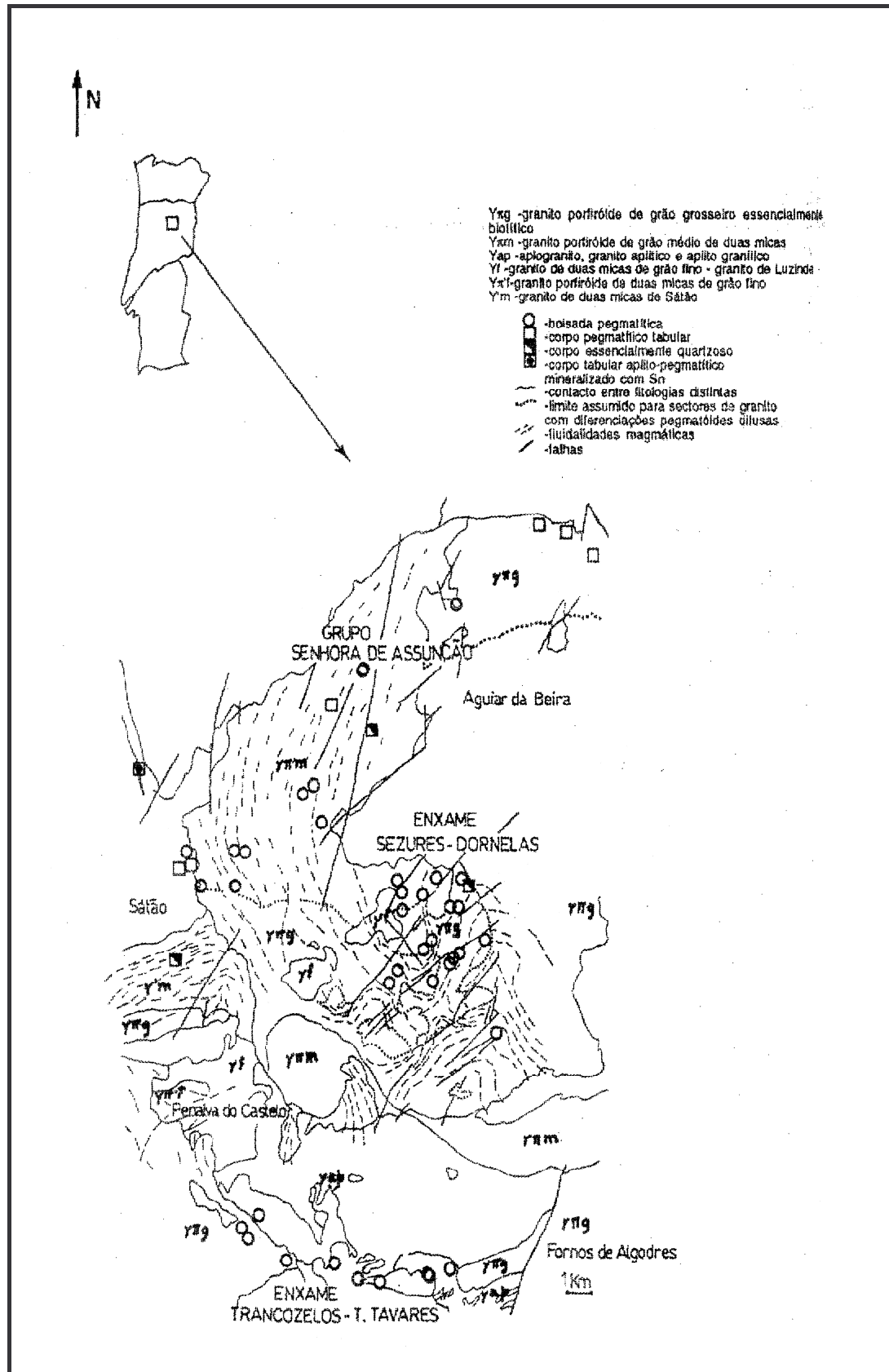


Fig. 90- Mapa geológico da zona envolvente da Senhora da Assunção (Trabulo et al., 1995)

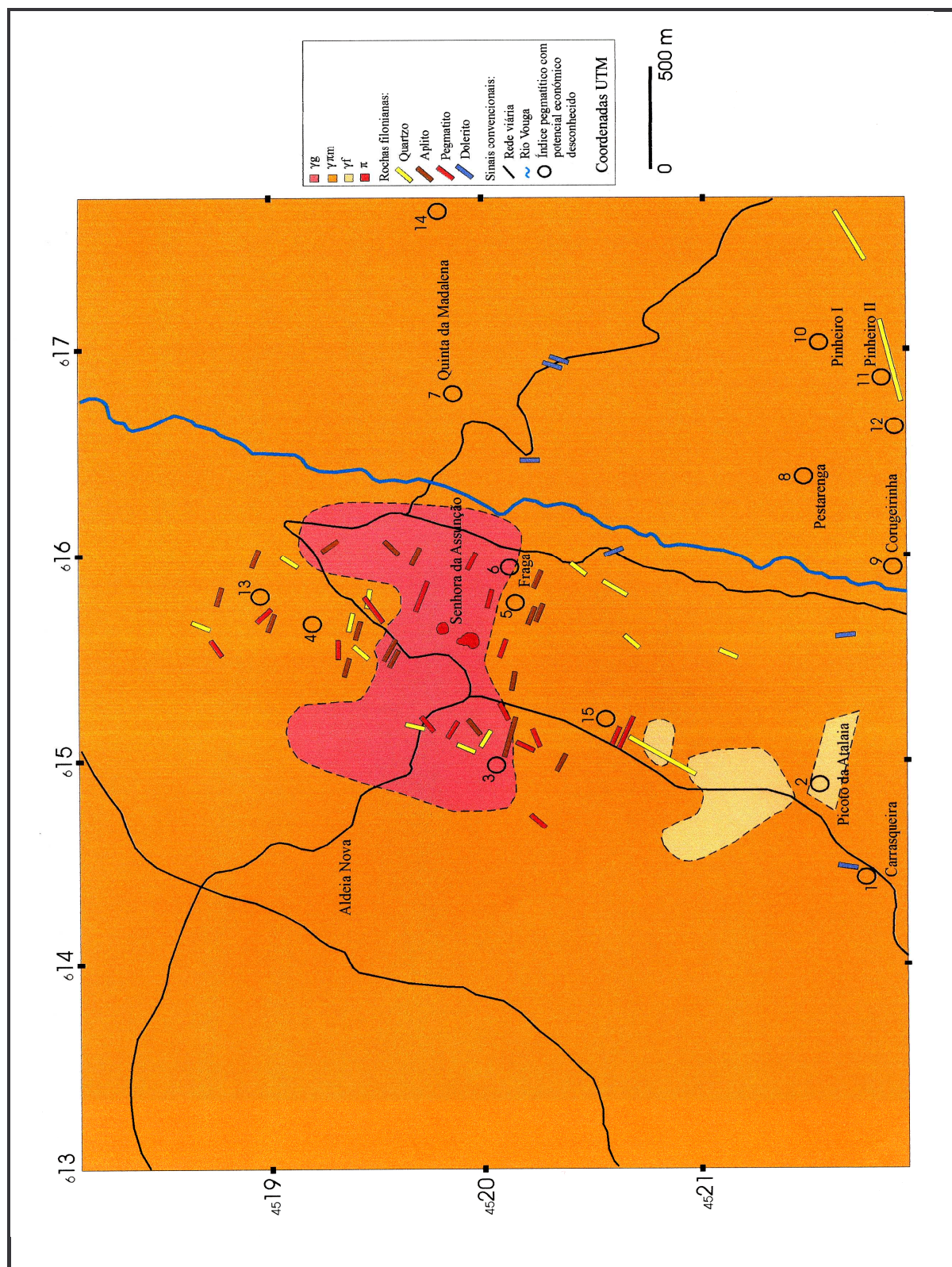


Fig. 91- Carta de litologias e índices pegmatíticos (Silva, 2002)

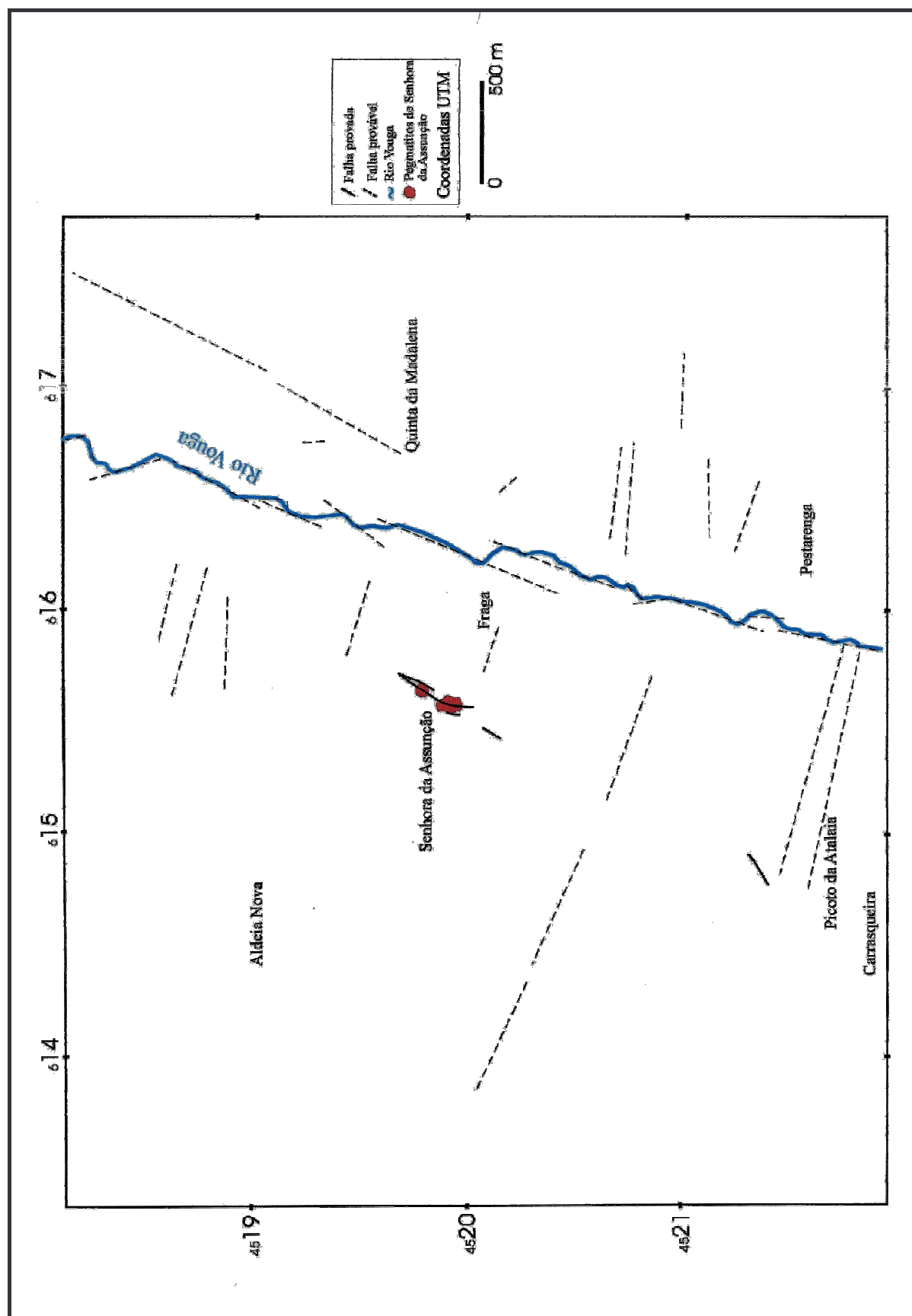


Fig. 92- Mapa das estruturas frágeis da zona envolvente da Senhora da Assunção (Silva, 2002)

Com base nas fluidalidades magmáticas observadas nos granitos (fenocristais e enclaves) podem representar-se os respectivos corredores e a localização de possíveis corpos pegmatíticos em profundidade, como se pode observar na figura 93.

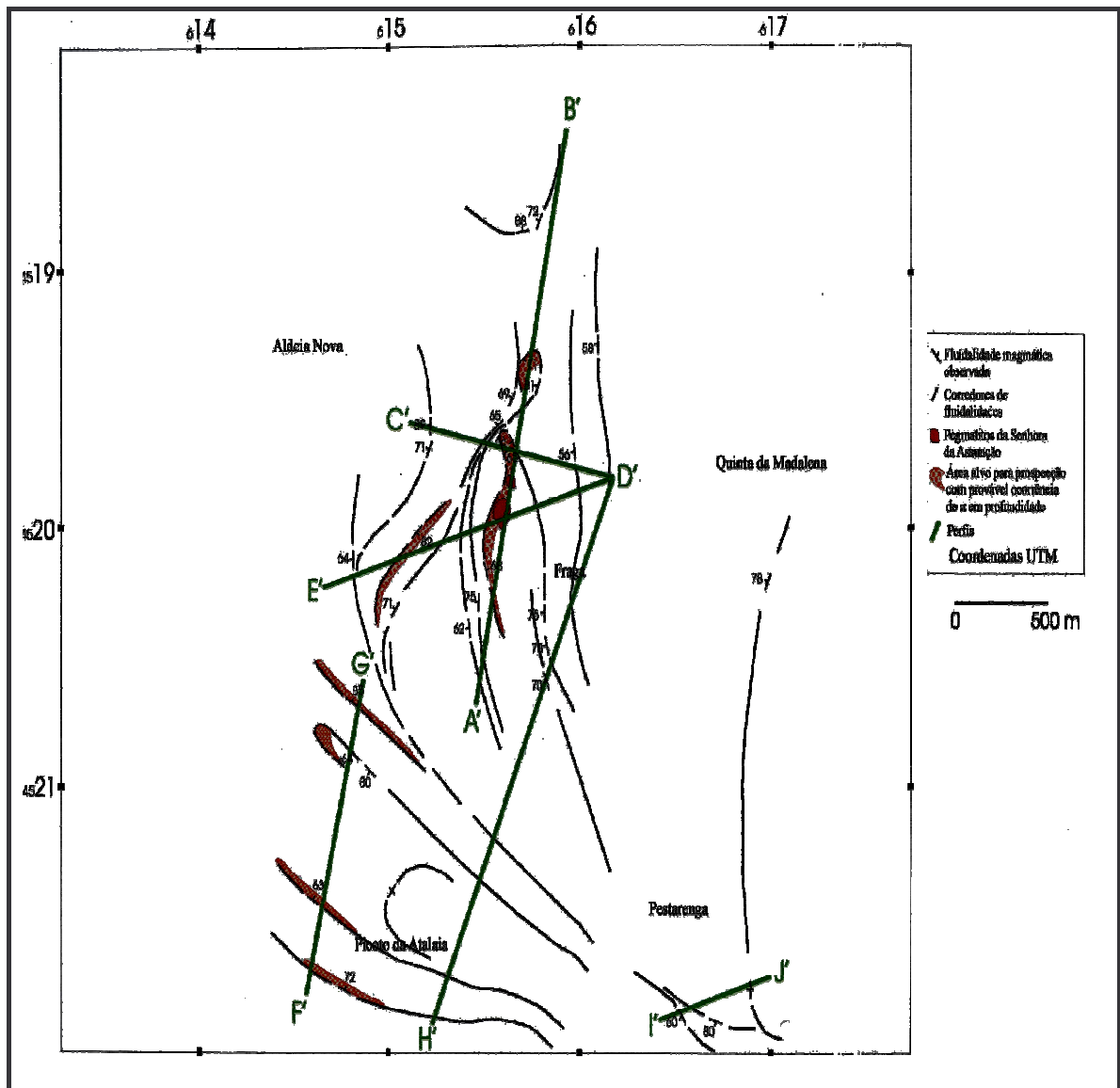


Fig. 93- Mapa representativo das trajectórias das fluidalidades magmáticas e áreas com provável ocorrência de corpos pegmatíticos em profundidade, de acordo com os modelos de favorabilidade geológica (Silva, 2002)

Os perfis representados na figura anterior encontram-se esquematizados na figura 94.

O corpo sul encontra-se actualmente em exploração e permite observar a distribuição dos minerais, ao contrário do corpo norte que se encontra totalmente alagado.

A zonalidade verificada no corpo sul corresponde aos diversos estádios de evolução paragenética e de fraccionação a partir dos fundentes e fluidos pegmatóides ao longo do processo de consolidação (Silva, 2002).

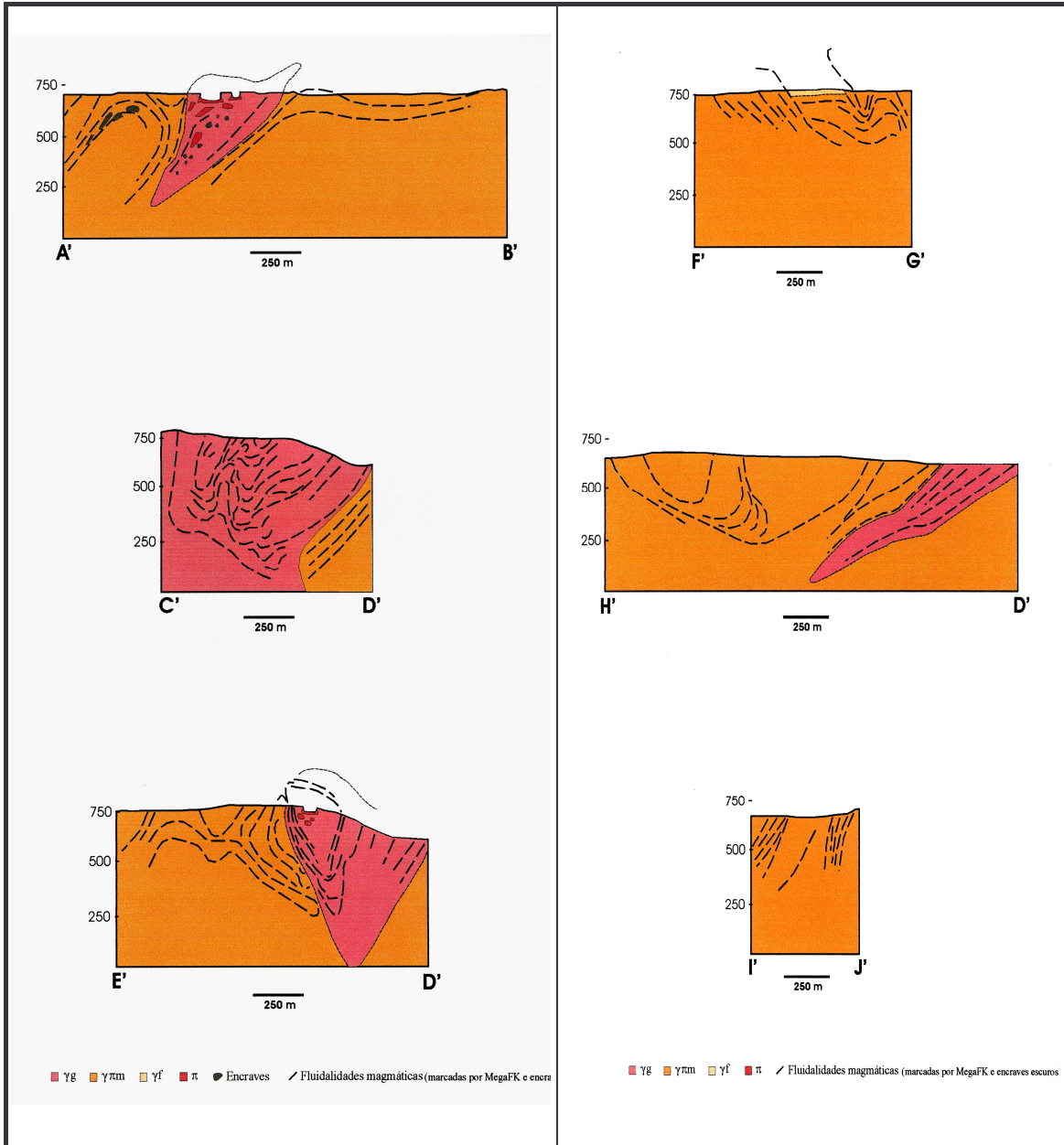


Fig. 94- Representação dos perfis A'-B', C'-D', E'-D', F'-G', H'-D' e I'-J' da cartografia dos granitos, traçados na figura 93, com as trajectórias das fluidalidades magmáticas (Silva, 2002)

Segundo Vlasov (1952), e tendo como base a textura e paragénesese, é possível esquematizar uma secção para os diferentes tipos de pegmatitos (fig.95).

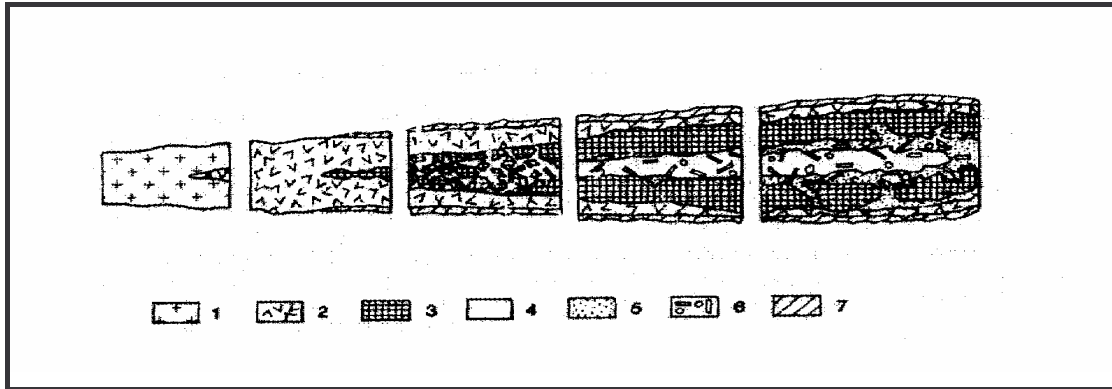


Fig. 95- Secção esquemática de diferentes tipos de pegmatitos com base na textura e paragénesese segundo Vlasov (Cerny, 1982). 1- pegmatito de textura granítica; 2- pegmatito gráfico; 3- cristais de feldspato- K, espodumena (oligoclase); 4- cristais e núcleo de quartzo; 5- zona de redeposição (albitização com moscovite, berilo, tantalite, etc.); 6- cristais de elementos raros como minerais acessórios; 7- zona de bordadura com moscovite, quartzo e albite.

Com base nas classificações de Cerny (1982), Leal Gomes (2003), Leal Gomes e Azevedo (2003), Leal Gomes *et al.* (1997) e Trabulo *et al.* (1995) e tendo em conta as frentes de desmonte actualmente expostas é possível estabelecer, segundo a textura e mineralogia, uma classificação da zonalidade do pegmatito e respectiva composição mineralógica, do seguinte modo:

- Zona de bordadura – corresponde ao limite da transição do granito para o pegmatito e apresenta quartzo e feldspato, exibindo um aumento da granularidade dos cristais em direcção ao núcleo, assim como concentrações de micas com estrutura em pente, tornando-se gráfico junto ao contacto (quartzo, feldspato potássico, albite e micas);
- Zona intermédia externa – trata-se fundamentalmente de uma mistura quartzo-feldspática (quartzo, feldspato potássico, berilo, ixiolite, cplumbite-tantalite, micas e zircão);
- Zona intermédia interna – apresenta feldspato potássico de granularidade grosseira e massas intersticiais quartzo-feldspáticas (feldspato potássico, berilo, ixiolite, isokite²², triplite-zwieselite, trafilite-litiofilite, lazulite-scorzalite e zircão);

²² Conforme referem Rupert Hochleitner e Karl Thomas Fehr (2005), (...) a new find of isokite in a quite different appearance (though also associated with triplite) was made in the pegmatite of Senhora da Assunção (HOCHLEITNER *et al.*, 2003). It yielded a greater amount of this rare calcium magnesium phosphate...

- Núcleo de quartzo – essencialmente monominerálico, apresentando cavidades miarolíticas com diferentes dimensões onde são visíveis grandes cristais de quartzo fumado, leitoso e hialino (quartzo, feldspato potássico, molibdenite e turmalina);
- Massas de substituição – são mangano-ferríferas, fosfatadas e raramente litiníferas (clorite, zinwaldite, torbernite, autunite, malaquite, caulinite, apatite, fenacite, euclase e bertrandite);
- Preenchimento de fracturas – materiais essencialmente quartzosos e argilosos, e microclínicos, cloríticos e sulfuretados (quartzo, óxidos de ferro, montmorilonite, clinocloro, cassiterite, wolframite, limonite e hematite).

Assim, o quartzo ocorre em maior concentração no núcleo e distribuído por massas anédricas com alguma fracturação, distribuído de forma heterogénea em texturas gráficas e presente em massas feldspáticas, nas zonas mais exteriores. O feldspato ocorre associado às zonas periféricas do pegmatito, com cristais de forma subédrica a anédrica e de cor branca a salmão.

Na zona intermédia surgem os cristais de berilo com crescimento centrípeto e são, também, visíveis gigacristais de forma euédrica, de cor maioritariamente verde e exibindo variações cromáticas para azul, onde são notórias algumas contaminações ferríferas e uraníferas que lhes confere tonalidades avermelhadas e amareladas.

Também ocorre, na referida zona, a moscovite que surge nas formas subédrica a anédrica, com uma estrutura em pente e algumas impregnações de biotite. No contacto da zona intermédia com o núcleo surgem as unidades fosfatadas, assim como em algumas cavidades miarolíticas primárias da zona intermédia ou do núcleo de quartzo e na proximidade dos berilos.

A isokite, a triplite-zwieselite e trifilite-litiofilite encontram-se habitualmente associadas em “foam structure”. A turmalina é muito rara e ocorre em cristais euédricos de pequena dimensão e cor preta acompanhando as massas hialinas no núcleo de quartzo.

Encontram-se pequenas massas de nióbio-tantalos em zonas de substituição ao longo da zona intermédia e sobre as faces dos berilos, onde também ocorrem cristais

subédricos de ixiolite nas zonas de contacto com as massas feldspáticas. A molibdenite apresenta-se dispersa no núcleo quartzoso, em pequenos cristais prateados.

As figuras 96 e 97 apresentam de modo esquemático a localização dos furos de sondagem realizados nos dois corpos do depósito da Sr.^a da Assunção.

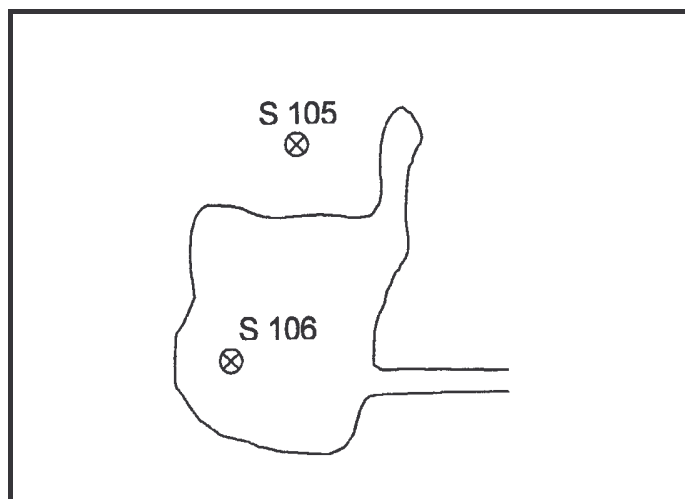


Fig. 96 – Localização das sondagens realizadas no corpo norte (sem escala) (Euroquartzo, 2000)

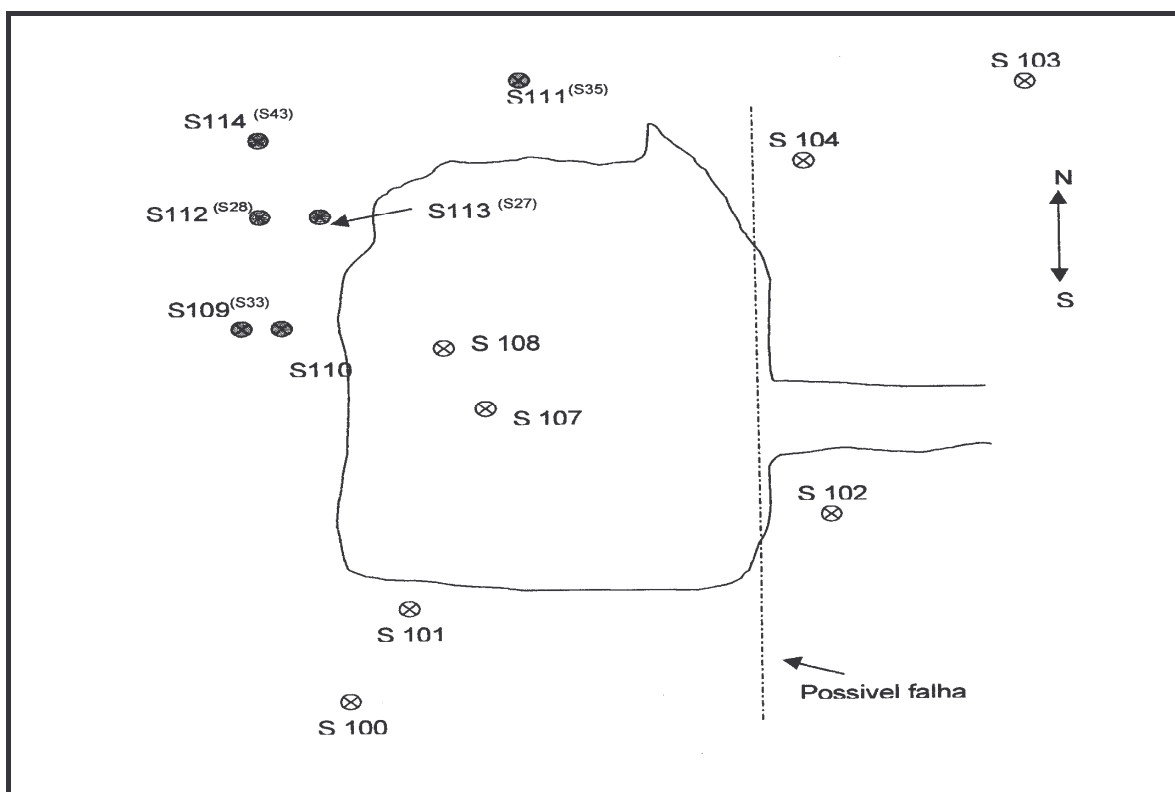


Fig. 97 - Localização das sondagens realizadas no corpo sul (sem escala) (Euroquartzo, 2000)

As amostras de quartzo retiradas desta área têm as referências P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7, para o depósito de Poço Palheiro e S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8 para o depósito da Senhora da Assunção; as amostras de feldspato têm as referências S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 e S9 e foram colhidas no depósito da Senhora da Assunção.

8.2.10 Depósito de Vila Longa

Esta área está referenciada na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (folha 14-D, Aguiar da Beira), conforme se indica na figura 98.

Relativamente à geologia do depósito de Vila Longa, situado na Freguesia de Vila Longa, Concelho do Sátão, Distrito de Viseu, o substrato da área em estudo é constituído por rochas graníticas Hercínicas, com intrusões de rochas filonianas do tipo pegmatítico e cobertas localmente por depósitos detríticos do tipo aluvião / eluvião.

Nas folhas publicadas na carta geológica 1:50 000 da região, toda a área aparece incluída numa extensa mancha de um único tipo de granito, designado como “granito calco-alcalino porfiróide de grão grosseiro/médio, essencialmente biotítico”.

É possível diferenciar no seio da mancha granítica, a ocorrência de dois tipos distintos de granito, embora ambos hercínicos tardi a pós-tectónicos, de carácter calco-alcalino, aspecto leucocrático, geralmente de duas micas predominantemente biotítica (por vezes só biotítica), de grão médio a grosseiro, distinguindo-se um do outro relativamente à textura, tipo de fracturação e resistência à meteorização.

A distinção é mais fácil quando à escala do afloramento. Torna-se então possível referenciar o granito de Vila Longa e o granito da Serra Alta, o primeiro francamente porfiróide de grão médio, raramente grosseiro, enquanto o segundo se apresenta não porfiróide e de grão notavelmente grosseiro.

Ao contrário do granito da Serra Alta, o granito de Vila Longa apresenta-se muito fracturado, geralmente com fracturas de espaçamento subsimétrico, bastante meteorizado e arenizado, pelo que ocorre em afloramentos de pequenas proporções.

Assim, o granito da Serra Alta apresenta-se pouco meteorizado, em afloramentos de grandes dimensões, em forma de laje ligeiramente arredondada e pouco fracturada e quase sempre com ausência de solo de cobertura.

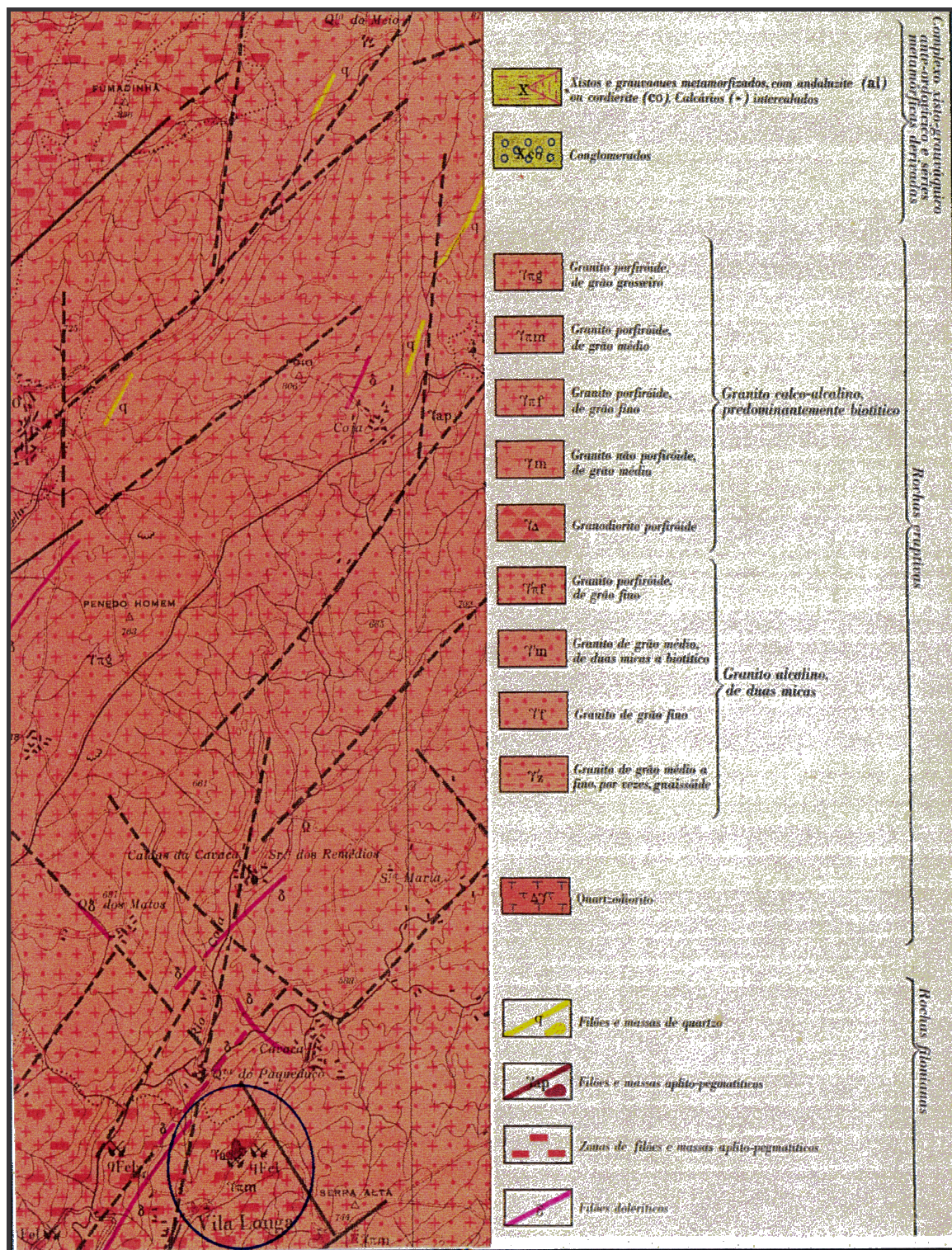


Fig. 98- Localização do depósito de Vila Longa (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Aguiar da Beira, folha 14D)

Entendem-se os dois granitos como estádios distintos de intrusão de magma granítico, julgando-se o de Vila Longa como sendo o mais recente.

Ocorrem, também, rochas filoneanas do tipo pegmatítico, intrudidas nos granitos já referidos, com atitudes predominantemente subhorizontais, com apófises de desenvolvimento subvertical.

Como cobertura dos granitos e rochas filoneanas surgem os aluviões e eluviões, nos vales das linhas de água principais que atravessam a zona em estudo.

Trata-se de depósitos detríticos que se formaram como consequência da meteorização e arenização do granito. São depósitos de pequena espessura, que formam os solos agrícolas da região.

Este depósito encontra-se em fase de exploração, com produção mensal de, aproximadamente, 100 toneladas de quartzo de 1ª qualidade e 200 a 300 toneladas de quartzo para a indústria metalúrgica. A produção de feldspato faz-se de modo descontínuo e em pequenas quantidades (fig. 99).



Fig. 99 - Aspecto geral da exploração existente em Vila Longa

Desta área foram retiradas amostras de quartzo com as referências V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9 e V10, e de feldspato com as referências G1, G2, G3, G4, G5, G6 e G7.

8.2.11 Massas Pegmatíticas da Região ocidental da Serra da Vila Mendo e de entre Ribeira e Real (Mesquitela, Mangualde)

Na região de Mesquitela (Mangualde), localizada na porção ocidental da Serra da Vila Mendo e a WNW da povoação de Real, há uma grande massa de aplito-pegmatito de alongamento E – W, de afloramento grosseiramente triangular, com extensão de cerca de 1100 m, e de vértice 400 m a N de Coucinheiro (Neiva, 1976-1977) (fig. 100).

Nesta massa, vêem-se grandes porções pegmatíticas com cristais de feldspato róseo e branco, moscovite e quartzo e também se encontram porções aplíticas com quartzo, feldspato e moscovite de grão fino.

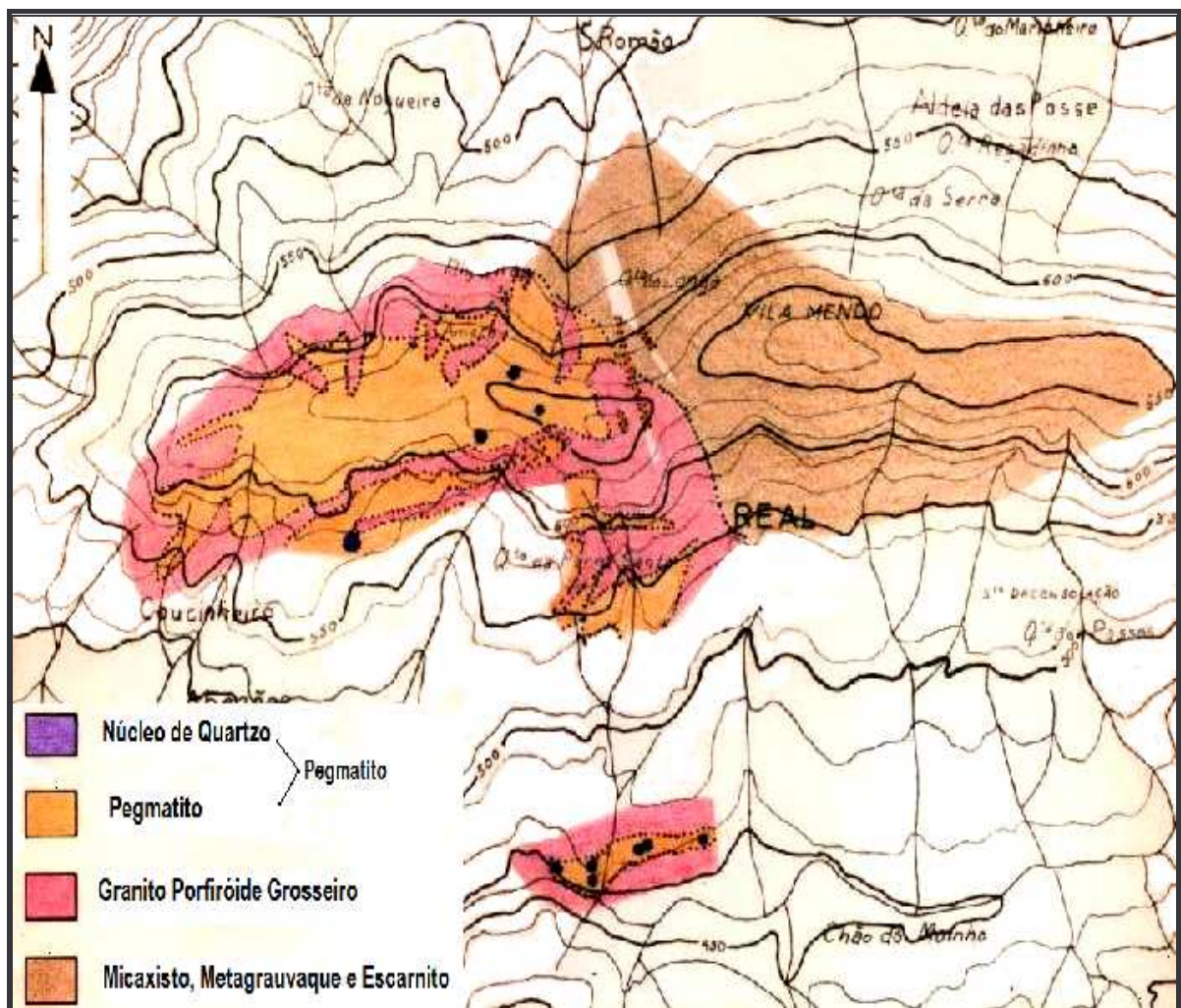


Fig. 100 - Pegmatitos da Serra de Vila Mendo e Real- Penalva do Castelo. (Adaptado de Neiva, 1976) (Esc.: 1/25000)

Nalguns locais, como os referidos na carta geológica, há núcleos de quartzo leitoso e por vezes hialino: um deles observa-se numa extensão de 10 m e outros são mais

pequenos. A massa aplito-pegmatítica foi trabalhada em diversos pontos pelo pilha quando da última guerra, que aí exploraram cassiterite e berilo. Um registo de scheelite cobre parte da porção norte da massa.

Outra massa pegmatítica encontra-se um pouco mais a Sul desta e a cerca de 1100m a ENE da povoação da Ribeira. Tem também alongamento aproximadamente E – W, sendo o pegmatito composto por feldspato esbranquiçado e feldspato róseo, quartzo leitoso e hialino, moscovite e berilo (fig. 100)

O pegmatito é zonado e o núcleo do quartzo vê-se aflorar em quatro locais: um com 5x5m; outro com 2x3m; outro com 10x11m; e outro com 1x1,50m. Estes quatro afloramentos de quartzo dispõem-se segundo o alongamento da massa pegmatítica e mostram este mineral com boa cristalinidade, e que em parte é leitoso, em parte róseo e mais raramente hialino.

8.2.11.1 Depósito do Couto de Baixo

Este depósito situa-se a cerca de uma dezena de quilómetros de Viseu, a sul desta cidade (fig. 101).



Fig. 101 - Couto de Baixo: antiga exploração de caulinos

Trata-se de um pegmatito, que apresenta um elevado grau de alteração e cujo núcleo de quartzo se encontra exposto, inserido numa antiga exploração de caulinos. A

massa de quartzo apresenta-se com elevado grau de fracturação, sendo visíveis fracturas verticais, numa face com cerca de 60 m de comprimento e 25 metros de altura.

O afloramento encontra-se delimitado por uma grande falha situada a sul da referida face e são visíveis 10 metros de quartzo, desde a base, e feldspato muito alterado, caulinizado e com uma cobertura de granito também muito alterado.

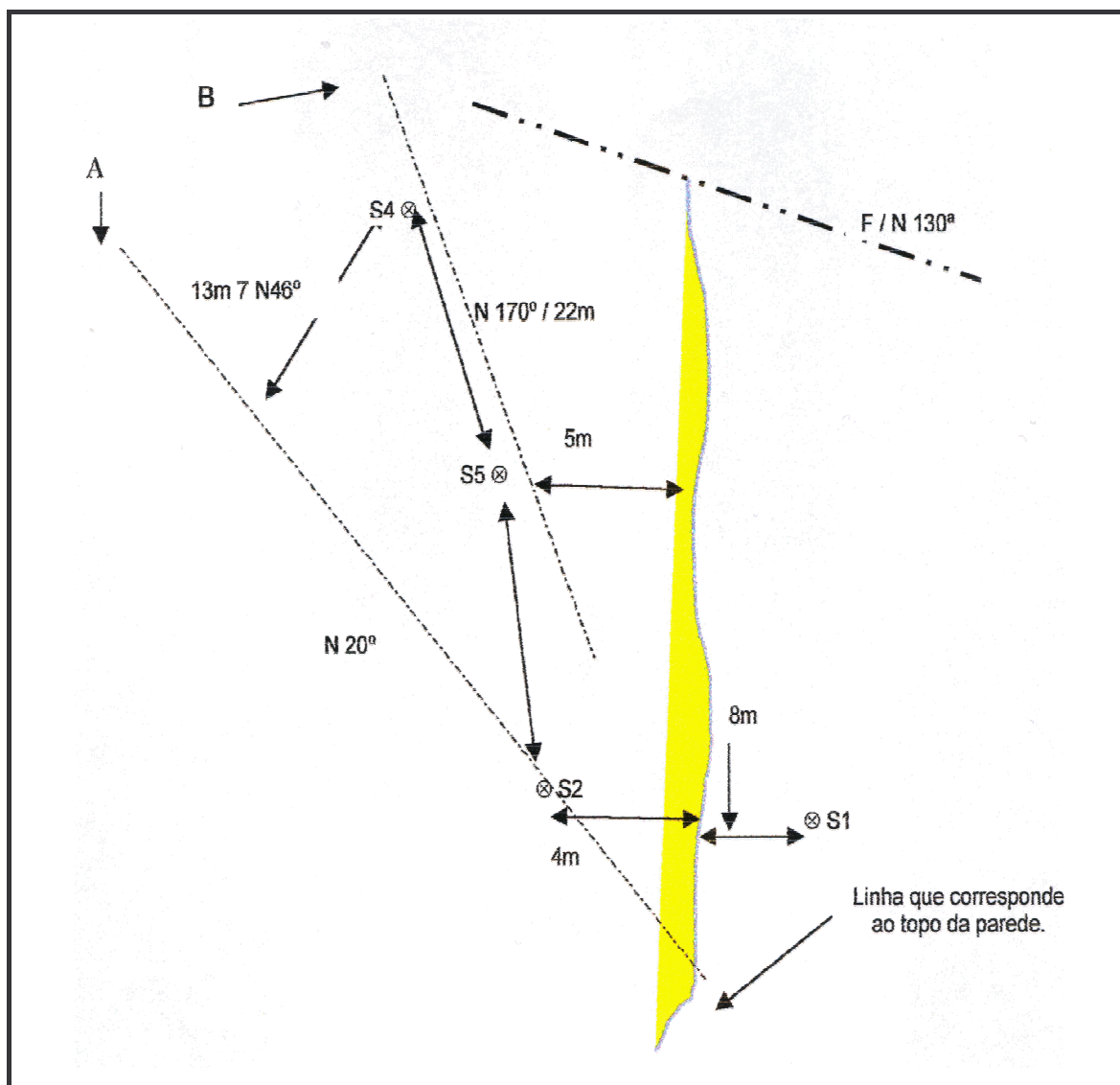


Fig. 102- Esquema do afloramento do depósito de Couto de Baixo (sem escala) (Euroquartzo, 2000)

A figura 102 representa, de modo esquemático, este depósito e as sondagens nele realizadas para a respectiva avaliação, que demonstraram apenas existir o quartzo que estava exposto na parede. Os logs de sondagem encontram-se representados no anexo 4.

8.2.11.2 Depósito de Pedras Pintas

Este depósito está inserido na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, na folha 35-B, situando-se do lado norte da estrada que liga Lavre a Ciborro, próximo da povoação Godeal (Concelho de Montemor).

Na referida área os pegmatitos graníticos são numerosos, em massas e filões de direcção predominantemente NW-SE. Inserem-se nas rochas do Maciço de Pavia, de idade hercínica, onde o granito biotítico se apresenta com grão médio.

O depósito de Pedras Pintas é formado por uma massa de pegmatito, que se encontra actualmente em exploração. Constata-se uma certa zonagem, que se manifesta por uma concentração monominerálica, de quartzo leitoso, a que se associa no sentido da periferia da massa, feldspato e quartzo associados a moscovite e, por fim, zonas com predomínio de mica branca (figs. 103 a 106).

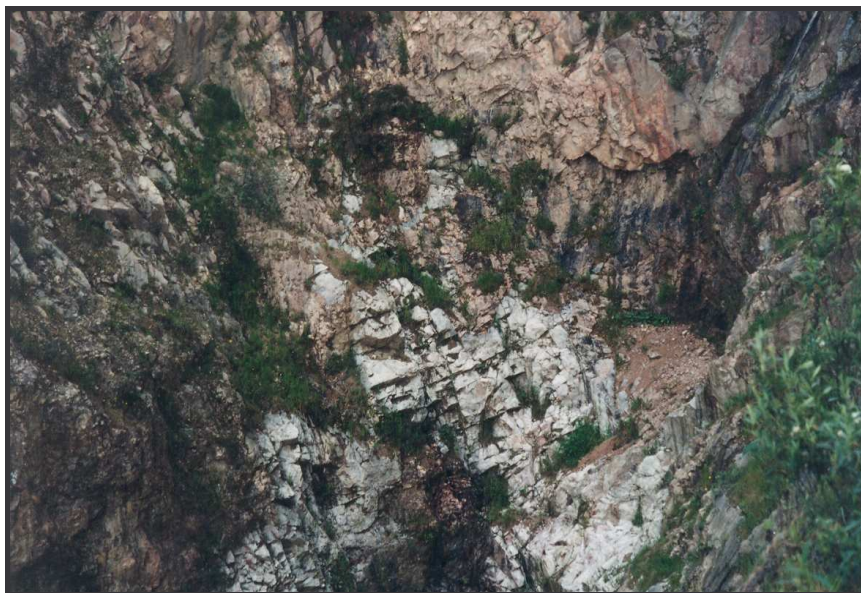


Fig. 103 – Massa de quartzo do depósito de Pedras Pintas



Fig. 104- Massa de quartzo e feldspato potássico



Fig. 105 – Micas associadas à massa de quartzo



Fig. 106 – Filonete de quartzo

Apresenta-se na fig. 107 um extracto da carta geológica com a localização do depósito de Pedras Pintas.

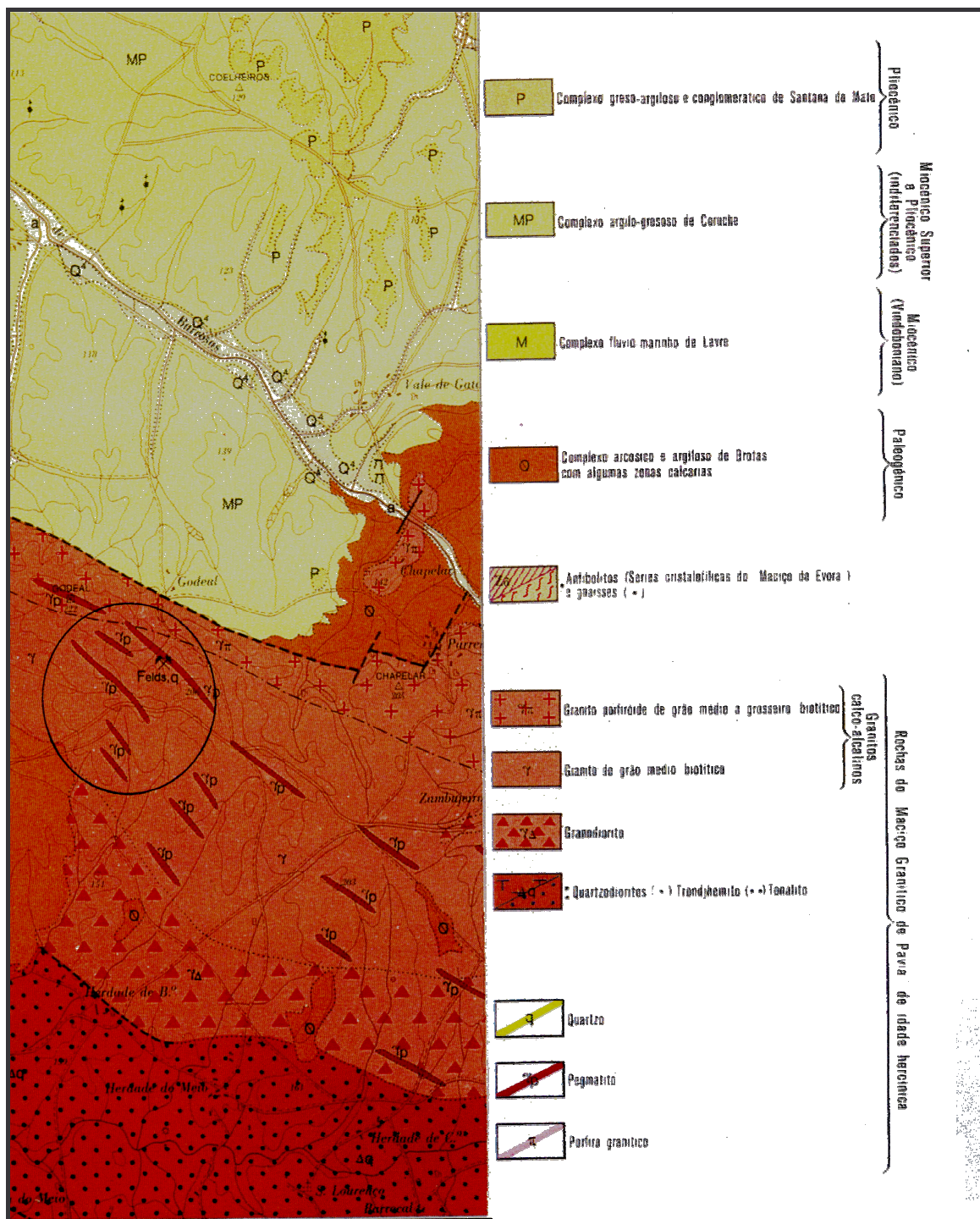


Fig. 107- Localização do depósito de Pedras Pintas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Mora, folha 35B)

Estes pegmatitos graníticos são constituídos por feldspato potássico, quartzo, moscovite e, mais raramente, por biotite e turmalina. Podem associar-se a aplitos.

As amostras de quartzo retiradas deste depósito têm as referências M1, M2, M3, M4, M5, M6 e M7.

8.3 Sobre alguns quartzitos

Quando o quartzito tem muito poucas micas e poucos óxidos de ferro, embora tratando-se de uma rocha, aproxima-se quimicamente do quartzo puro dado que é uma rocha cujo mineral essencial é o quartzo.

É muito provável que haja afloramento de quartzito, até mesmo na Serra do Marão, com reservas excepcionais (milhões de toneladas), que interessem como matéria-prima para a metalurgia do silício (Neiva, 1976).

8.3.1 Proximidades de Arco de Baúlhe

Nas proximidades de Arco de Baúlhe e entre esta povoação e Mondim de Basto há diversos afloramentos de bancadas de quartzito. Num dos locais da Quinta da Corujeira, onde também aflora um filão de quartzo já referido, foi possível colher em boas condições uma amostra de uma das possantes bancadas de quartzito, que se revela de grande interesse.

Para estudo pormenorizado dos quartzitos haverá que fazer estudo geológico de pormenor dos afloramentos de quartzito e efectuar uma série de sondagens para colheita de amostras médias nas bancadas mais promissoras dos quartzitos.

8.3.2 Entre Vidago e Boticas

Na região há extensos e mais ou menos espessos afloramentos de bancadas de quartzito. A Estrada Nacional n.º 311 corta, entre Vidago e Boticas, algumas bancadas de quartzito intercaladas no xisto grafitoso. Ao km 108,6 da referida estrada, numa bancada com 6 m de possança, é visível quartzito com aspecto muito claro e quase sem micas.

8.3.3 Paradança (Serra do Marão)

Há uma bancada de quartzito com uma espessura da ordem dos 3 m no cimo do morro granítico da Travessa, no lugar de Carqueja, da Freguesia de Paradança, por vezes com intercalações estreitas de xisto, a que se sobrepõe uma camada de magnetite limonitizada e que corresponde a estrutura de sinclinal largo.

O granito porfiróide de grão médio, de duas micas, metamorfizou por contacto termal o quartzito, fazendo com que este recrystalizasse e apresente boa pureza, verificando-se que o quartzito não é mau e poderá oferecer interesse económico. É de supor que as suas reservas não sejam inferiores a 150000 t, facilmente desmontáveis a céu aberto.

8.3.4 Serras de Soalheiro, Santa Comba e Garraia

Entre proximidades de Passos (Mirandela) e proximidades de Valongo dos Milhais (Murça), numa região com cerca de 10 km de extensão e largura de cerca de 2 km há possantes afloramentos de bancadas de quartzito.

As camadas de disposição NW – SE passando a W – E, com pendores no geral de 12° - 20° para NE ou N, apresentam-se concordantes com camadas de filádio grafitoso e estão bem marcadas na morfologia pela sua dureza e possança, tornando-se fácil a sua exploração em frentes altas e extensas.

8.3.5 Castelo (Mirandela), Serra do Cubo, Serra do Faro (Vilas Boas)

Uma outra região de possantes bancadas de quartzito, intercaladas com filádios, e duas vezes atravessada e margiada a Este pelo rio Tua, ocupa os cerros das elevações acima referidos. Estende-se desde Mirandela a Norte, até proximidades de Vilas-Boas, a Sul, aproximadamente numa extensão de 12 km, e apresenta a sua maior largura a Sul, superior a 5 km, estreitando para norte, onde tem cerca de 1 km.

A jusante de Cachão o rio Tua cortou, no sítio do Puxa-Preto, possantes bancadas de quartzito com cerca de 30 m de possança. É um quartzito mais ou menos xistóide cujas camadas têm disposição N60° e pendor de 27° para NE e com imponentes escarpas sobre o vale do Tua, que parecem os mesmos quartzitos de Senhora da Assunção de Vilas-Boas.

O quadro 35 apresenta os resultados de análises efectuadas sobre as amostras superficiais de quartzo colhidas em alguns dos depósitos referidos, no qual se constata que

algumas das variações mais acentuadas se relacionam com o Al_2O_3 e com uma ou outra amostra que exibem o Fe_2O_3 mais elevado, já que as variações verificadas no SiO_2 não são muito acentuadas.

*Quadro 35 – Afloramentos de quartzo e algumas das respectivas características químicas (dados em %)
(Neiva, 1976)*

Local da amostragem de superfície	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
Ladeira	99,27	0,40	0,09	0,10
Paredes	99,38	0,12	0,07	0,28
Corujeira 1	99,20	0,16	0,15	0,33
Corujeira 2	98,79	0,11	0,54	0,36
Valdega	99,03	0,56	0,08	0,13
Emeres	99,39	0,17	0,12	0,12
Três Minas- Filão A	99,10	0,34	0,11	0,25
Três Minas- Filão B	98,78	0,55	0,10	0,37
Ribeira Joanes	99,25	0,26	0,18	0,11
Alto do Picoto	99,28	0,28	0,10	0,14
Monte Verde	98,46	0,88	0,06	0,50
S. Pedro de Águias	98,34	1,15	0,16	0,15
Ribalonga	99,00	0,55	0,16	0,15
Castanheiro do Norte	99,16	0,50	0,09	0,12
Pombal de Ansiães	99,50	0,20	0,06	0,09
Carreira do Seixo	98,23	0,75	0,51	0,31
Lamas de Orelhão	99,00	0,40	0,16	0,29
Alto dos Serralhões	99,16	0,30	0,11	0,28
Favaiois/Sanfins do Douro	98,34	1,04	0,11	0,29
Arco de Baúlhe/Corujeira	98,72	0,50	0,26	0,32
Vidago/Boticas	98,78	0,75	0,12	0,15
Paradança (Serra do Marão)	98,48	0,53	0,41	0,38
Serra de Soalheiro, Santa Comba e Garraia (Franco)	97,71	1,35	0,48	0,26
Cachão/Vilarinho das Azenhas	96,88	2,21	0,36	0,35

Uma estimativa das reservas geológicas de quartzo, em todos os depósitos amostrados, aponta para cerca de 4.000.000 t das quais cerca de metade podem ter

aplicação na produção de Si e FeSi, já que as restantes possuem um ou mais elementos químicos com teores incompatíveis à produção daqueles materiais.

8.4 Feldspatos

As principais unidades produtoras de feldspatos em Portugal situam-se dispersas pelos distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Porto, Viseu e Guarda, com uma quota de mercado de cerca de 75%. Relativamente às unidades produtoras de quartzo, actualmente em actividade, situam-se nos distritos do Porto e Viseu.

Os distritos de Viseu e Guarda têm sido objecto de estudos de prospecção com vista à descoberta de novos depósitos de pegmatitos e/ou aplito-pegmatitos, uma vez que estes representam, normalmente, um grande potencial em termos de feldspatos, se bem que associados ao quartzo.

A figura 108 ilustra um desses depósitos, situado entre Fornos de Algodres e Mangualde (Chãs de Tavares).

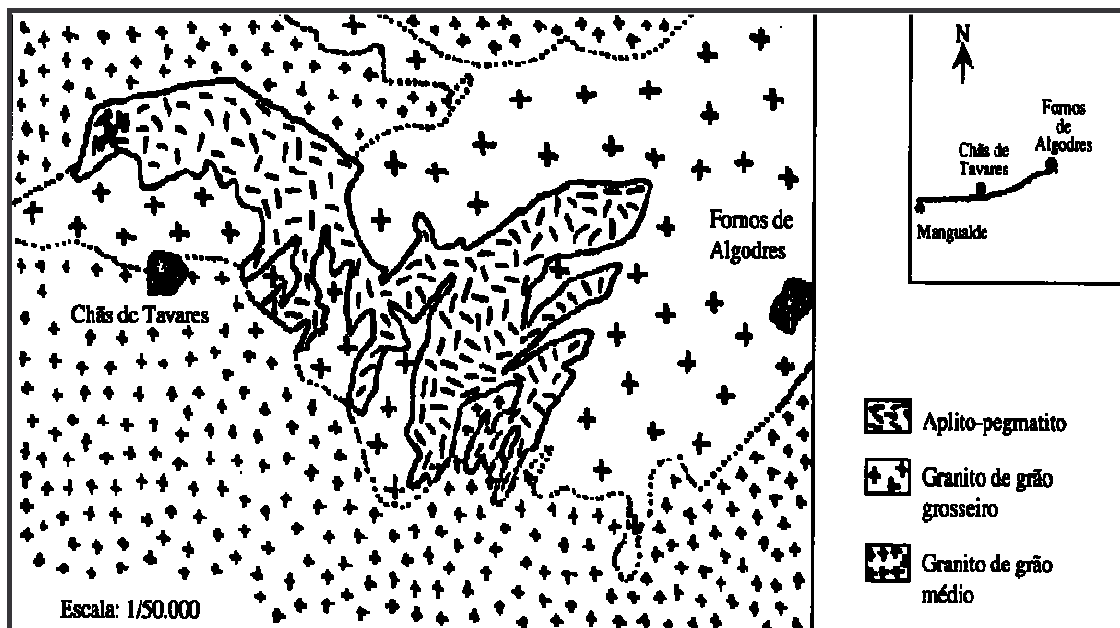


Fig. 108- Mapa geológico sintético do aplito de Chãs de Tavares (Velho, Gomes e Romariz, 1998)

Salvo raras exceções, os depósitos pegmatíticos são de pequena dimensão, o que levou os produtores nacionais a procurar outras fontes de materiais feldspáticos, nomeadamente as arcoses, constituídas por uma associação de quartzo, caulino, mica, feldspato e minerais ferrosos.

Os depósitos de arcoses permitem para além da extracção do quartzo e do feldspato, a extracção do caulino que, embora seja um subproduto, também pode ser utilizado na indústria cerâmica, contribuindo deste modo para a rentabilização económica daquele tipo de explorações.

A título de exemplo, pode citar-se o interesse observado relativamente ao depósito de arcoses da Lomba do Alveite, na bacia sedimentar de S. Martinho/Sanguinheda (Arganil).

O referido depósito foi objecto de um projecto desenvolvido pelo IGM com vista à caracterização tecnológica e beneficiação da formação produtiva, que incluiu ensaios mineralógicos e de libertação, ensaios de separação magnética e flutuação (Grade *et al.*, 1994).

Esse estudo apontou para algumas vantagens deste depósito, relativamente às habituais fontes de abastecimento de feldspatos, tais como a existência de enormes reservas, com boa acessibilidade, e a possibilidade de os subprodutos serem susceptíveis de aplicação industrial.

Apontou, ainda, para uma pequena variabilidade química e mineralógica, dos produtos a aplicar na indústria cerâmica, o que constitui alguma garantia de boa receptividade do mercado que sempre reclama a falta de manutenção dos parâmetros de qualidade das matérias-primas.

Para além de uma boa localização, relativamente aos centros de consumo, aquele depósito permite ainda uma economia no consumo de energia na moagem por se encontrarem com granulometria inferior a 500 micra.

8.4.1 Depósito de Amarante (Lixa)

Em termos regionais, a área estudada insere-se numa extensa mancha do Silúrico Inferior, provavelmente do Landoveriano (fig. 109).



Fig. 109- Localização da área amostrada no Concelho de Celorico de Basto (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Celorico de Basto, folha 10-A)

Trata-se de uma formação constituída superiormente por xistos superiores, essencialmente pelíticos ou composta por alternância, da ordem dos centímetros, de xistos oxidados castanho-avermelhados e metassiltitos ou metarenitos.

Subjacentes ao referido estrato ocorrem vulcanitos ácidos bandados, vulcanitos intermédios-básicos e quartzitos imaturos, micáceos e xistentos com intercalações de quartzitos compactos.

Como consequência da orogenia hercínica que afectou aquela zona, intrudiram rochas graníticas de diferentes grupos.

O monzogranito de grão fino, de duas micas, essencialmente biotítico da série precoce desse grupo apresenta, na área em análise, alguns afloramentos e as formações que integram esta área surgem descritas na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 (folha 10-A – Celorico de Basto).

Amostragem superficial do afloramento

O afloramento do monzogranito do Outeiro, com dimensões amplas, possui uma superfície de cerca 6 hectares (58.950 m²) e uma forma muito favorável a um desmonte mecanizado, a céu aberto.

Revela grande continuidade, parece não possuir intercalações de outras rochas e as diferenciações detectadas, circunscrevem-se à ocorrência ocasional de um ou outro filão ou filonete de quartzo.

Foi realizada uma amostragem que constou de:

- Implantação duma rede de amostragens primária, com malha de 40x40 m, para avaliação de eventuais impurezas existentes no material. Essa avaliação foi efectuada com base na determinação do teor em Fe₂O₃ das amostras obtidas.
- Selecção das áreas do afloramento com um nível de impurezas em minerais ferrosos aceitável, tendo em conta a aplicação industrial dos materiais a extrair.
- Definição duma área com características mais favoráveis para um estudo mais aprofundado da qualidade do material. Implantação nessa área, duma rede de amostragens secundaria, com malha de 20x20 m., para uma definição do nível de qualidade do material, nomeadamente dos teores em feldspatos potássicos e sódicos.

A purificação com base na separação magnética obriga a que o nível de impurezas permitidas nos produtos finais seja igual ou inferior a 0,3% em Fe_2O_3 , ou seja, com base na experiência industrial relativamente ao tratamento destes materiais tornará aceitável obter esse produto final a partir de materiais com teores em Fe_2O_3 superiores a 1%.

Assim, a rede de amostragem primária cobriu praticamente todo o afloramento (cerca de 54.500 m²) e visou apenas a definição do nível de impurezas (minerais ferrosos) em cada ponto.

Foi possível, deste modo, seleccionar áreas favoráveis dentro do afloramento, tomando para o efeito, como limite máximo, o teor de 0,9% Fe_2O_3 do material, o que permitiu eliminar áreas com material dotado de impurezas acima desse limite. Este processo conduziu à eliminação de áreas que não ultrapassaram 10% da área total do afloramento.

Resultados das amostras de material do afloramento do Outeiro

Mesmo antes das primeiras colheitas de amostras, as perspectivas do monzogranito do Outeiro eram já as mais favoráveis, devido ao menor teor em ferro do seu material. Nesta amostragem preliminar foram colhidas sete amostras localizadas nos nós duma rede de malha de cerca de 100 metros, obtendo-se os resultados apresentados no quadro 36.

Quadro 36- Amostragem superficial preliminar do afloramento do Outeiro (cálculo modal aproximado)

	Equivalente Biotite (%)	Feldspato Potássico (%)	Feldspato Sódico (%)	Feldspato Cálcico (%)	Equivalente Caulinite (%)	Quartzo (%)
F11	2,36	17,75	13,61	2,41	17,12	41,75
F12	0,80	18,51	36,68	2,78	7,69	28,54
F13	1,22	20,86	33,22	2,31	14,36	23,03
F14	2,33	21,13	16,31	2,04	21,22	31,97
F15	0,98	19,97	33,13	2,59	14,69	23,64
F16	1,43	18,23	34,32	2,22	12,41	26,39
F17	1,76	20,21	22,14	2,13	15,11	33,65

O quadro 37 apresenta os resultados da análise química da amostragem superficial preliminar.

Quadro 37 – Amostragem superficial preliminar do afloramento do Outeiro (análise química)

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
F11	73,44	19,24	0,26	3,72	1,61	0,91
F12	71,62	19,34	0,30	3,71	4,34	0,31
F13	68,55	21,38	0,25	4,14	3,93	0,47
F14	68,60	22,25	0,22	4,27	1,97	0,90
F15	68,96	21,77	0,28	3,97	3,92	0,38
F16	70,06	19,60	0,24	3,71	4,06	0,55
F17	71,56	19,76	0,23	4,07	2,62	0,68

Saliente-se que este cálculo modal é apenas um cálculo aproximado, mas, apesar disso, adequado e adaptado aos fins em vista. Cálculos modais mais precisos exigiriam análises químicas mais completas (por exemplo, a determinação em magnésio, titânio, fósforo, etc., que sabemos existirem no material em muito reduzida quantidade) e também análises mineralógicas muito pormenorizadas.

Neste caso, o termo “equivalente em biotite” pressupõe que todo o ferro detectado está sob a forma de biotite que é a situação mais desfavorável para a purificação do material.

Por sua vez, o “equivalente em caulinite” é calculado a partir da alumina residual e pressupõe que toda essa alumina estaria sob a forma de caulinite.

Eventuais erros daí derivados apenas afectam a credibilidade dos teores em quartzo que devem ser considerados, apenas, como valores de referência.

Apesar de tudo isto, este cálculo modal revela-se muito útil para a avaliação do nível de qualidade do material, por exemplo, para a definição dos quantitativos em feldspatos potássicos e sódicos, no fundo os minerais mais valiosos do material, visando aplicações cerâmicas.

Apesar de todos os condicionalismos, estes dados permitem destacar as seguintes conclusões:

A maior dispersão dos resultados das sete amostras manifesta-se ao nível do teor em feldspato sódico e de equivalente em caulinite, já que as variações do teor em quartzo são consequência dessa dispersão. Tal não surpreende, se tivermos em conta que se trata de

material à superfície e, portanto, com possibilidade de distintos graus de caulínização, pelo que se estima uma menor dispersão em profundidade.

Entrando em consideração com todos esses parâmetros, na definição mais pormenorizada e aprofundada da qualidade do material no sector W do afloramento foi estabelecida uma rede secundária de amostragem com malha de 20m x 20m, como se pode observar na figura 110.

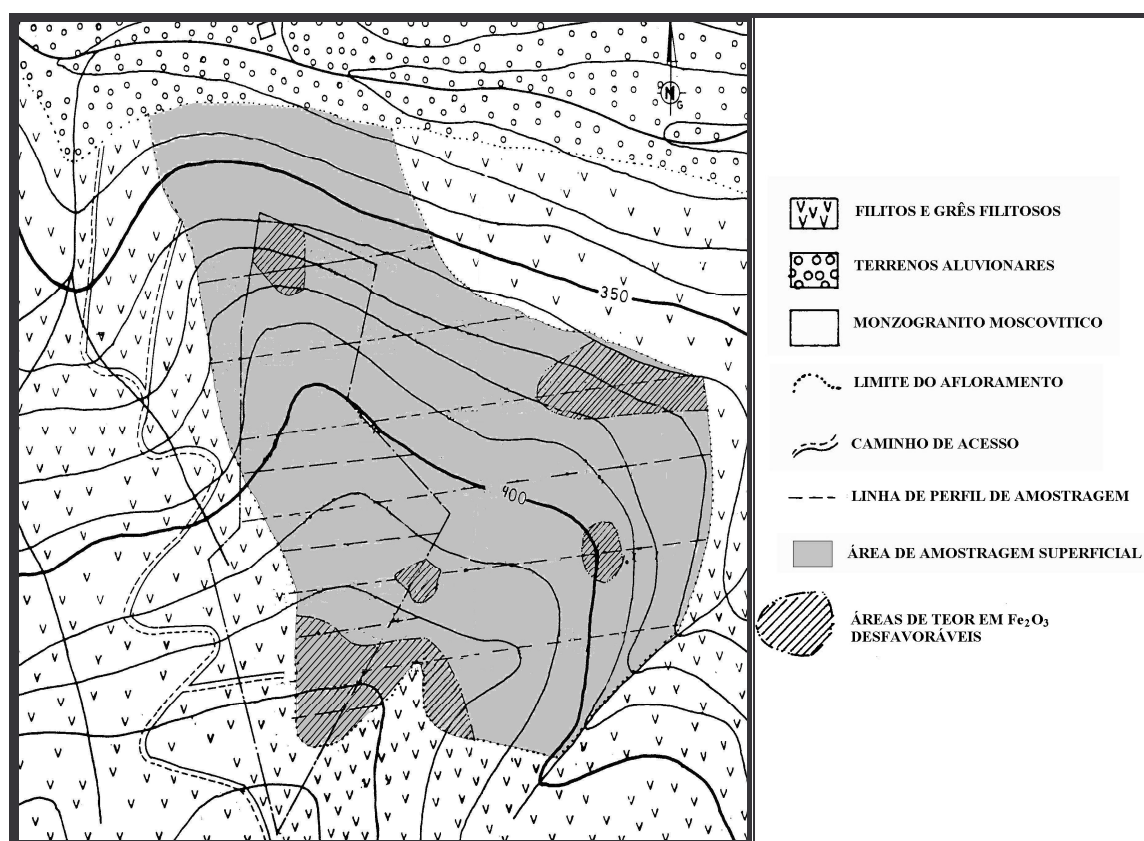


Fig. 110- Carta de afloramentos e localização das amostragens superficiais (Esc.: 1/2000)

Sobre as amostras obtidas desta rede secundária de amostragem, foram determinados não só os teores em Fe₂O₃, como também os teores em álcalis (sódio e potássio). Algumas dessas amostras foram objecto de análise mais completas, visando também a determinação de SiO₂, Al₂O₃, CaO, TiO₂ e P₂O₅, como se pode observar nos quadros 38 e 39, que reflectem os resultados das amostras colhidas no afloramento, com teores em Fe₂O₃ inferiores a 0,9% pelas razões já referidas.

Quadro 38 - Amostragem superficial do afloramento do Outeiro (cálculo modal aproximado em %

	Equivalente biotite	Moscovite (fixado)	Feldspato potássico	Feldspato sódico	Feldspato cálcico	Equivalente caulinite	Quartzo
F1	1,44	3,00	22,53	18,51	0,00	14,82	40,00
F2	1,76	3,00	25,33	22,14	0,00	6,36	41,47
F7	1,43	3,00	18,23	34,32	2,22	12,41	26,39
F8	1,81	3,00	20,21	22,14	2,13	15,11	33,65
F9	1,36	3,00	18,78	25,36	0,00	10,08	41,56
F10	2,00	3,00	24,28	27,30	0,00	7,38	43,16
F18	1,33	3,00	22,52	28,74	0,00	7,15	37,48

Quadro 39- Amostragem superficial do afloramento do Outeiro (análise química)

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
F1	72,04	15,26	0,68	3,74	4,74	0,54
F2	72,29	15,12	0,42	4,51	4,05	0,68
F7	70,00	19,60	0,24	3,71	4,06	0,55
F8	71,56	19,76	0,23	4,07	2,62	0,70
F9	75,50	14,10	0,20	3,90	3,00	0,60
F10	74,16	14,40	0,40	4,34	4,06	0,39
F18	76,50	14,10	0,31	4,22	3,40	0,60

Resultados das amostragens superficiais

Os resultados obtidos permitiram o cálculo modal aproximado para 21 das amostras colhidas, o que possibilitou uma avaliação do nível de qualidade do material.

Da análise desses resultados, destacam-se os seguintes aspectos:

- A média do teor em Fe₂O₃ das amostras, a nível de todo o afloramento do monzogranito do Outeiro, é de 0,58%.
- A soma dos alcalis (K₂O+Na₂O) varia entre 6,7 e 8,6%. A média dessa soma de alcalis é de 7,77% (4,07 de K₂O e 3,70% de Na₂O).
- O material do Outeiro tem teores muito reduzidos TiO₂ (sempre inferiores a 0,12%), em CaO (inferiores a 0,68%) e em MgO (inferiores a 0,06%).
- Foram realizados ensaios de fusibilidade do material que revelaram uma boa fusibilidade nas temperaturas cerâmicas utilizadas industrialmente.

Os referidos resultados, traduzidos em composição mineralógica das rochas (à custa de cálculo modal aproximado), permitem as seguintes conclusões:

- O material do Outeiro tem uma composição em feldspatos (sódicos+potássicos) que varia entre 41,04% e 52,55%.
- A média de teores de feldspatos (sódicos+potássicos) é de cerca 47,2%.
- As percentagens relativas de feldspatos potássicos/feldspatos sódicos são em média de 40%/60%, variando entre 35%/65% e 45%/55%, isto é, com dispersão muito reduzida. Estas percentagens relativas são muito favoráveis ao uso deste material nas nossas indústrias da cerâmica.
- A reduzida dispersão de resultados nos pontos amostrados revela, em princípio, a ausência de diferenciações mineralógicas acentuadas na formação, pelo menos nas áreas do afloramento pesquisadas com maior pormenor.

Sondagens mecânicas

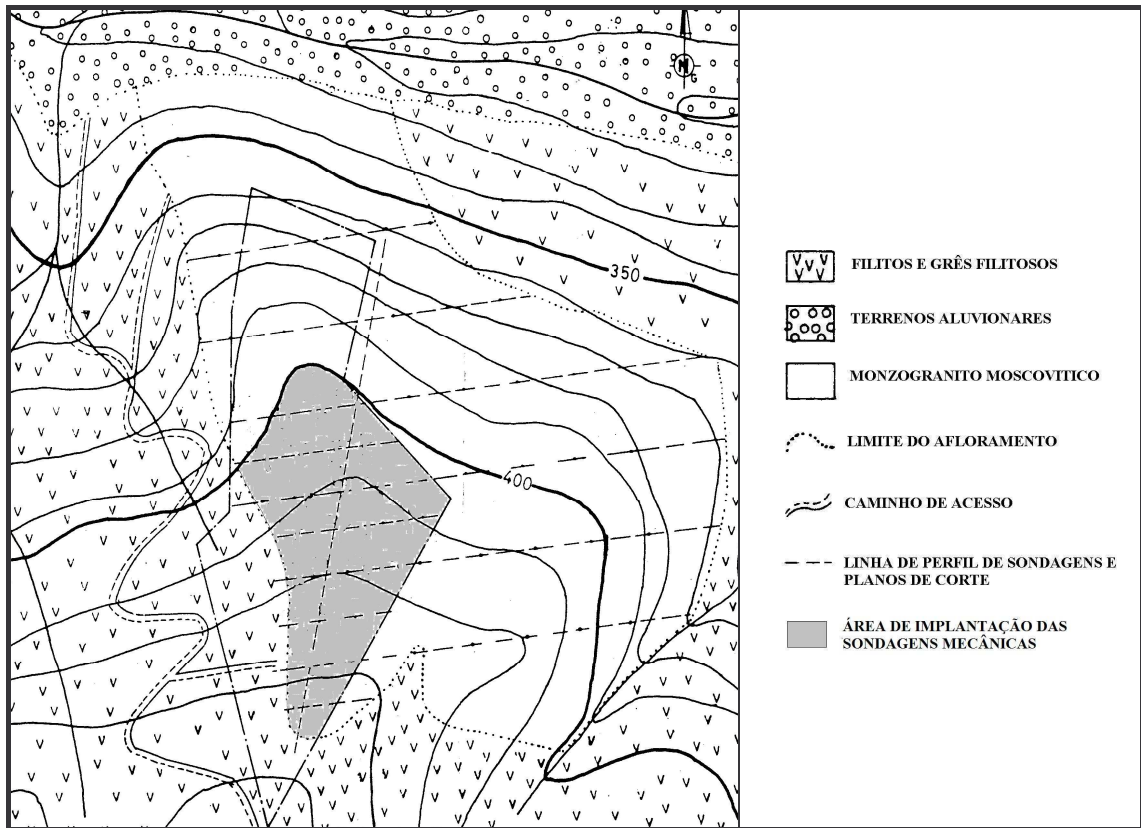
A interpretação topográfica do afloramento da formação levou a admitir que o monzogranito do Outeiro possuía uma estrutura planar limitada por um muro com uma direcção aproximada de N60°W e uma inclinação média para NNE de cerca 16°.

Realizaram-se 28 furos de sondagem verticais, com malha de 20 m x 20 m, com o intuito de obter uma localização e forma exactas desse muro e consequentemente da espessura da formação em cada ponto, bem como do nível de qualidade do material ao longo da espessura da formação.

Foram mesmo realizados furos numa área com material de qualidade desfavorável na amostragem superficial (no sector SW do afloramento) já que se suspeitava que esses elevados teores em Fe₂O₃ poderiam resultar de impregnações consequentes de escorrências de águas superficiais da zona dos filitos, a montante.

Como objectivo, para além de averiguar a estrutura em profundidade, pretendeu-se verificar se os elevados teores em Fe₂O₃ detectados se mantinham ou se reduziam em profundidade.

A figura 111 representa a localização dos furos de sondagem realizados, bem como a sua profundidade.



O trabalho foi planificado para colher amostras de metro a metro de furação e tal aconteceu nas primeiras sondagens executadas. Rapidamente se constatou que a formação, ao longo da sua espessura, não apresentava diferenciações na composição mineralógica do material.

As únicas variações detectadas resumiam-se ao cruzamento de um ou outro filonete de quartzo e a um ligeiro amarelar do material na passagem de diaclases, aliás pouco frequentes. Isto é, as várias amostras do mesmo furo revelaram-se muito idênticas.

Nestas condições, o perfil das várias sondagens é sempre do mesmo tipo e constituído por três fases distintas:

- Zona de solos de cobertura sempre pouco espessa (no geral inferior a 1 m.).
- Material do monzogranito sem diferenciações dignas de registo
- Muro da formação (filitos profundamente argilificados).

O elevado custo de amostragem, preparação de amostras e análises químicas aconselhou, em princípio, a recolher todo o material da furação obtido de cada furo no monzogranito. Assim, por uma razão meramente económica, apenas foi analisada uma amostra por furo.

Conforme se pode constatar nos quadros 40 e 41, resultados das amostras das sondagens, o material, em profundidade, apresenta melhores teores em Fe_2O_3 , embora ainda superiores às médias gerais na formação.

Quadro 40- Resultados das sondagens do Outeiro (cálculo modal aproximado)- dados em %

	Equivalente biotite	Moscovite (fixado)	Feldspato potássico	Feldspato sódico	Feldspato cálcico	Equivalente caulinite	Quartzo
F3	1,79	3,00	25,33	22,14	0,00	6,36	41,47
F4	1,95	3,00	18,45	23,33	0,00	12,32	41,65
F5	1,94	3,00	23,96	16,65	0,00	14,30	41,34
F6	1,85	3,00	18,97	19,27	0,00	10,13	47,62
F19	1,57	3,00	20,22	23,75	0,00	11,06	41,26
F20	1,44	3,00	22,53	18,51	0,00	14,82	40,00
F21	1,70	3,00	22,82	23,24	0,00	9,10	40,62
F22	1,64	3,00	22,38	27,81	0,11	7,50	38,15
F24	2,10	3,00	22,28	27,30	0,00	8,38	37,16

Quadro 41- Resultados das sondagens do Outeiro (análise química)

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	CaO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)	Fe_2O_3 (%)
F3	76,5	13,0	0,24	4,73	2,62	0,80
F4	74,7	14,7	0,15	3,58	2,76	0,95
F5	73,9	15,3	0,08	4,51	1,97	0,86
F6	77,6	13,0	0,24	3,66	2,28	0,80
F19	75,3	14,5	0,17	3,85	2,71	0,73
F20	72,9	15,6	0,17	4,23	2,19	0,73
F21	75,5	14,0	0,24	4,30	2,75	0,76
F22	75,5	14,11	0,31	4,22	3,29	0,72
F24	74,4	14,4	0,26	4,24	3,23	0,90

Resultados das sondagens

Os resultados da amostragem e análise das amostras obtidas das sondagens, permitem algumas conclusões sobre a qualidade do material.

Em termos médios, os resultados são os seguintes:

- A média dos teores em Fe_2O_3 das amostras das sondagens é de 0,8%, superior à média dos resultados das amostras colhidas à superfície;
- Apenas uma das amostras das sondagens possui um teor em Fe_2O_3 que inviabilize a beneficiação do material (máximo em Fe_2O_3 de 0,90%) para o nível de qualidade exigido pelo mercado;
- A média da soma do teor em alcalis $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ é de 6,8%, ligeiramente inferior à mesma média na amostragem superficial (7,77%);
- A média dos teores em Feldspato potássico + Feldspato sódico das amostras analisadas das sondagens é de 44,33%, resultado este ligeiramente inferior à média obtida da amostragem superficial (47,02%). Tal diferença deve-se muito provavelmente a deficiências na amostragem do material das sondagens, onde sempre ocorrem perdas de algum material em pó, rico em feldspatos.
- As amostras colhidas das sondagens revelam a presença de quantidades muito reduzidas de ilmenite (inferiores a 0,3%), fosfatos de cálcio (sempre menos de 1%) e feldspatos cálcicos (0,0 a 0,11%).

As conclusões a retirar, em síntese, revelam que o material do Monzogranito de Outeiro parece possuir uma qualidade adequada à produção prevista.

Trabalhos e estudos a realizar

A conjugação dos elementos obtidos através das sondagens permitirão a elaboração de estudos importantes, nomeadamente interpretações estruturais mais pormenorizadas da formação objecto deste estudo, elaboração de cortes geológicos visando o cálculo de volumes de monzogranito existente nessa área, realização de alguns ensaios tecnológicos, avaliação da qualidade dos produtos finais a comercializar, definição dos recursos extraíveis e do rendimento ponderal no tratamento. As amostras de feldspato retiradas desta área têm a referência de F1 a F24.

8.4.2 Depósito de Casal da Cinza

Esta área está referenciada na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (folha 18-C, Guarda) (fig. 112).

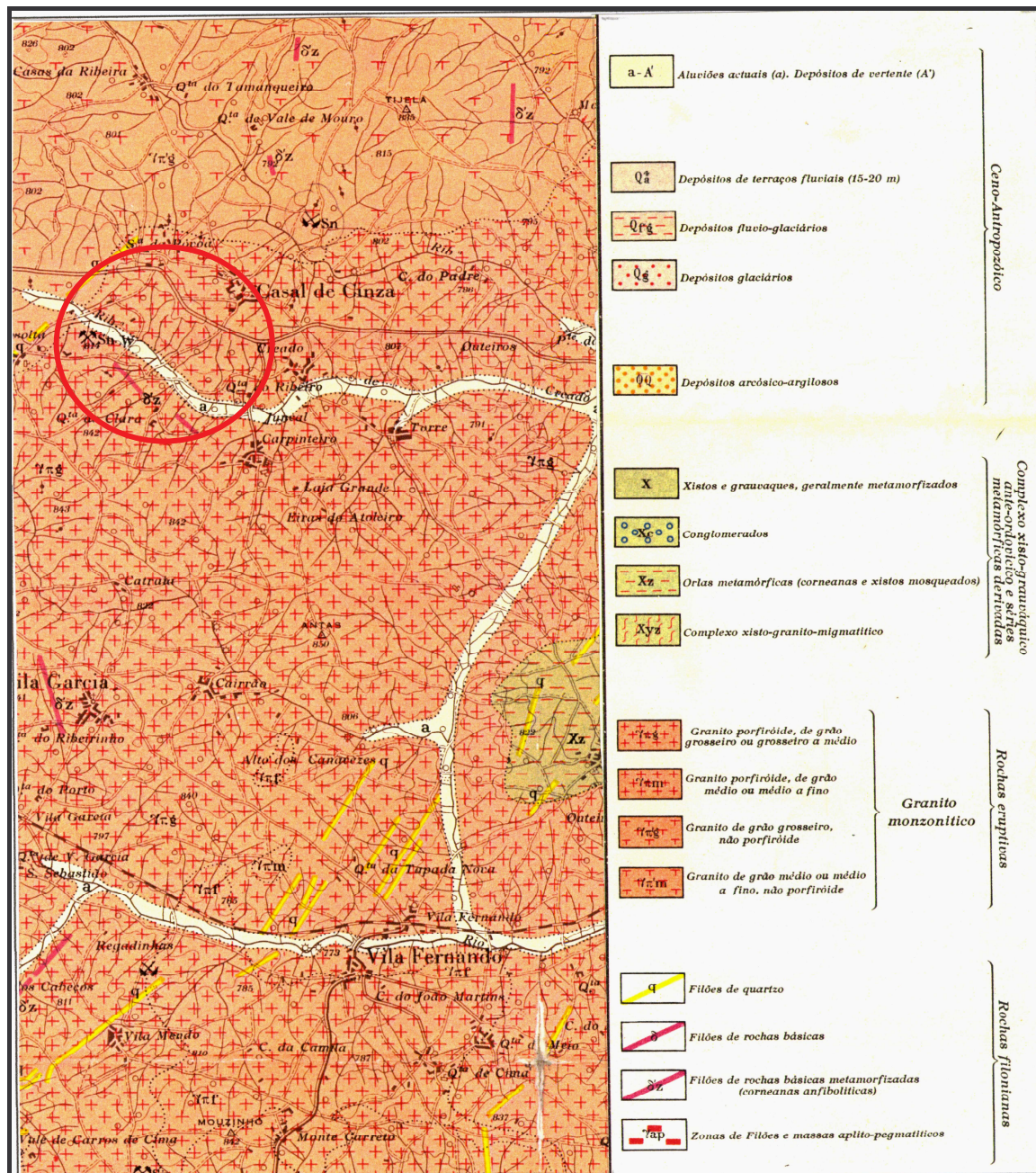


Fig. 112- Localização da área amostrada no Distrito da Guarda (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Guarda, folha 18-C)

A área estudada é essencialmente de natureza granítica, com pequenas manchas xistentas intercaladas, numerosos filões, sobretudo de quartzo e de rochas básicas, e alguns depósitos aluvionares recentes.

Em relação à composição mineralógica, o granito é de tipo monzonítico, de duas micas, com o predomínio da biotite, embora apresente variedades diferentes quanto à textura.

Predominam os filões quartzosos e, logo a seguir, os de rochas básicas e os aplitos-pegmatíticos. Os terrenos de cobertura são formados por aluviões recentes e depósitos de fundo de vale.

A área é coberta, quase na totalidade, por granito monzonítico, biotítico. “Apesar de apresentar variações de textura e de granularidade, do ponto de vista da composição mineralógica é mais uniforme, não obstante mostrar carácter acentuadamente alcalino na metade ocidental da carta. Como elementos essenciais contém, habitualmente, quartzo, oligoclase ou oligoclase-andesina, microclina, microclina-pertite, micro-pertite, albite ou albite-oligoclase, biotite e moscovite. Os minerais acessórios compreendem apatite, zircão, magnetite, turmalina, rútilo, etc. entre os minerais secundários assinalam-se caulinite, sericite, clorite, rútilo acicular, esfena, etc.” (Teixeira, Carlos *et al.*, 1963, p.11).

Nesta região “são vulgares os intercrescimentos mirmequíticos e micropegmatíticos de quartzo e feldspato e é frequente observar-se a substituição de grandes cristais de plagioclase por microlina, indício de que a rocha foi afectada por microclinização intensa.

Os megacristais de feldspato, às vezes muito desenvolvidos, mostram-se em alguns casos alinhados, embora com orientação variável de local para local. A caulinização e sericitização dos feldspatos são fenómenos vulgares.

Provenientes da alteração da biotite, ocorrem, frequentemente, esfena e minerais do grupo do epidoto. A calcite foi assinalada, embora muito raramente.

No geral a rocha está alterada à superfície e, em muitos casos, arenizada até grande espessura. Não são raros os granitos com feldspatos róseos. Observam-se, igualmente, manchas com a alteração verde. São frequentes as intrusões, muitas vezes de natureza xistenta” (Teixeira, Carlos *et al.*, 1963, p.12).

A área em estudo é constituída “por rochas leucomesocráticas, com grandes cristais de feldspato e grão geralmente grosseiro.

Forma a grande mancha que ocupa a região da Guarda, estendendo-se para norte e para sul; ultrapassa os limites do mapa. Tem, igualmente, grande desenvolvimento nas regiões orientais, como Parada e Adão.

Este granito é essencialmente monzonítico, mas, por vezes, localmente, mostra tendência para alcalino” (Teixeira, Carlos *et al.*, 1963, p.13). Em toda esta região verifica-se que a granularidade da rocha varia de grosseira a média.

Neste depósito realizaram-se 8 sondagens (Fig.113), cujos logs de sondagem estão representados no anexo 5.

Trata-se de uma antiga extracção de quartzo e feldspato onde é possível observar uma escavação de cerca de 8 metros de profundidade, com algumas evidências de quartzo na face actualmente exposta. As sondagens foram realizadas com o intuito de averiguar relativamente à possibilidade de existência de um corpo mineralizado em quartzo, em profundidade.



Fig. 113 – Vista do depósito de Casal de Cinza

À excepção das sondagens S6 e S7 realizadas a cerca de 150 m da antiga exploração, e que permitiram recolher as melhores amostras de quartzo em toda a área em

estudo, todas as restantes foram efectuadas junto dos locais onde o quartzo ainda é visível, com a finalidade de verificar a continuidade dos corpos evidenciados à superfície.

A figura 114 representa um esquema onde se indicam os locais de realização das sondagens, e as manchas assinaladas a amarelo representam evidências de quartzo.

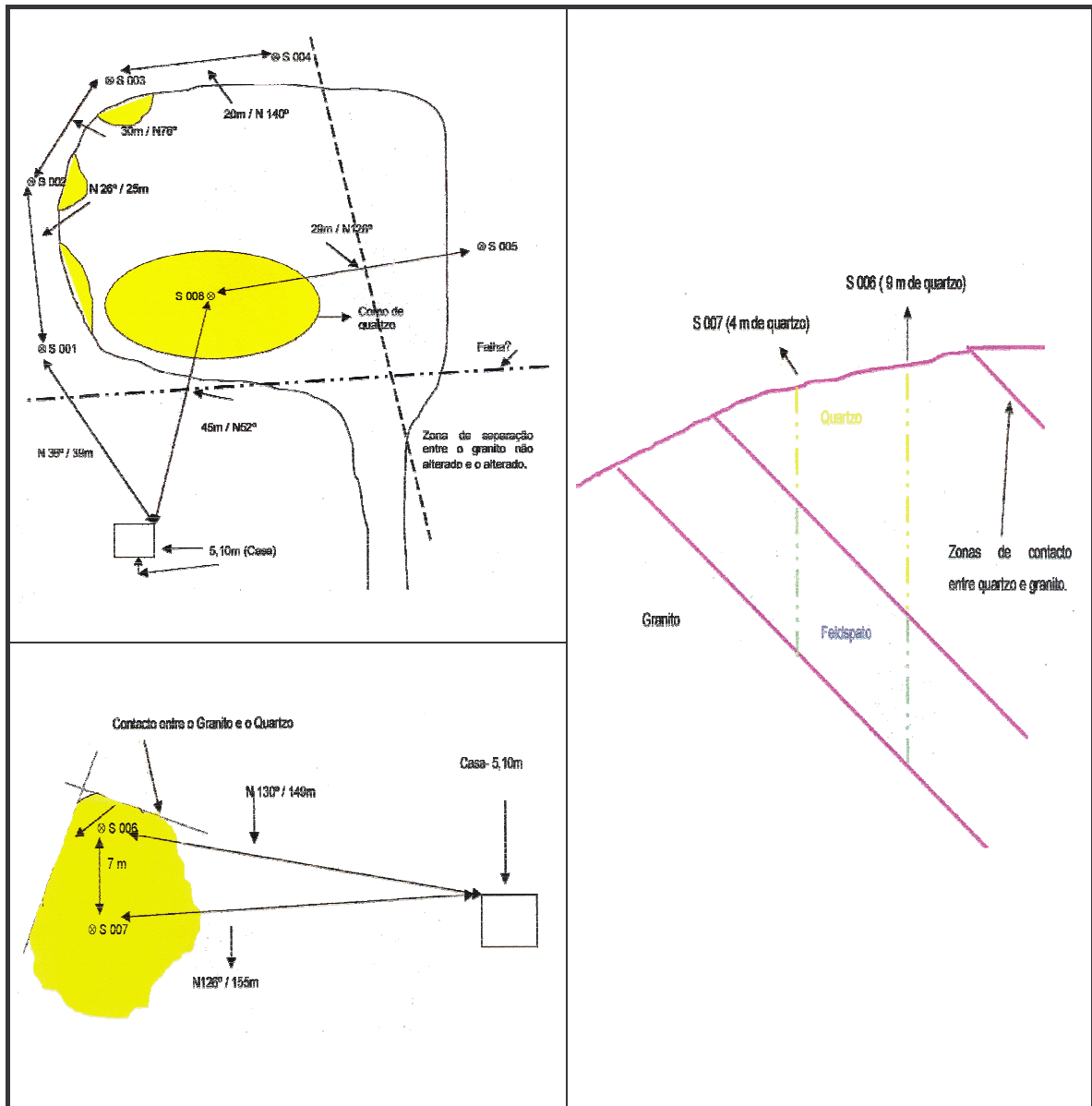


Fig. 114- Representação esquemática do depósito de Casal de Cinza, em planta e perfil, com indicação das sondagens realizadas (sem escala) (Euroquartzo, 2000).

As amostras de feldspato retiradas nesta área têm as referências C1 a C16.

8.4.3 Depósito de Vale da Moura

Esta área está referenciada na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (folha 17-D, Guarda) e está representada na figura 115.

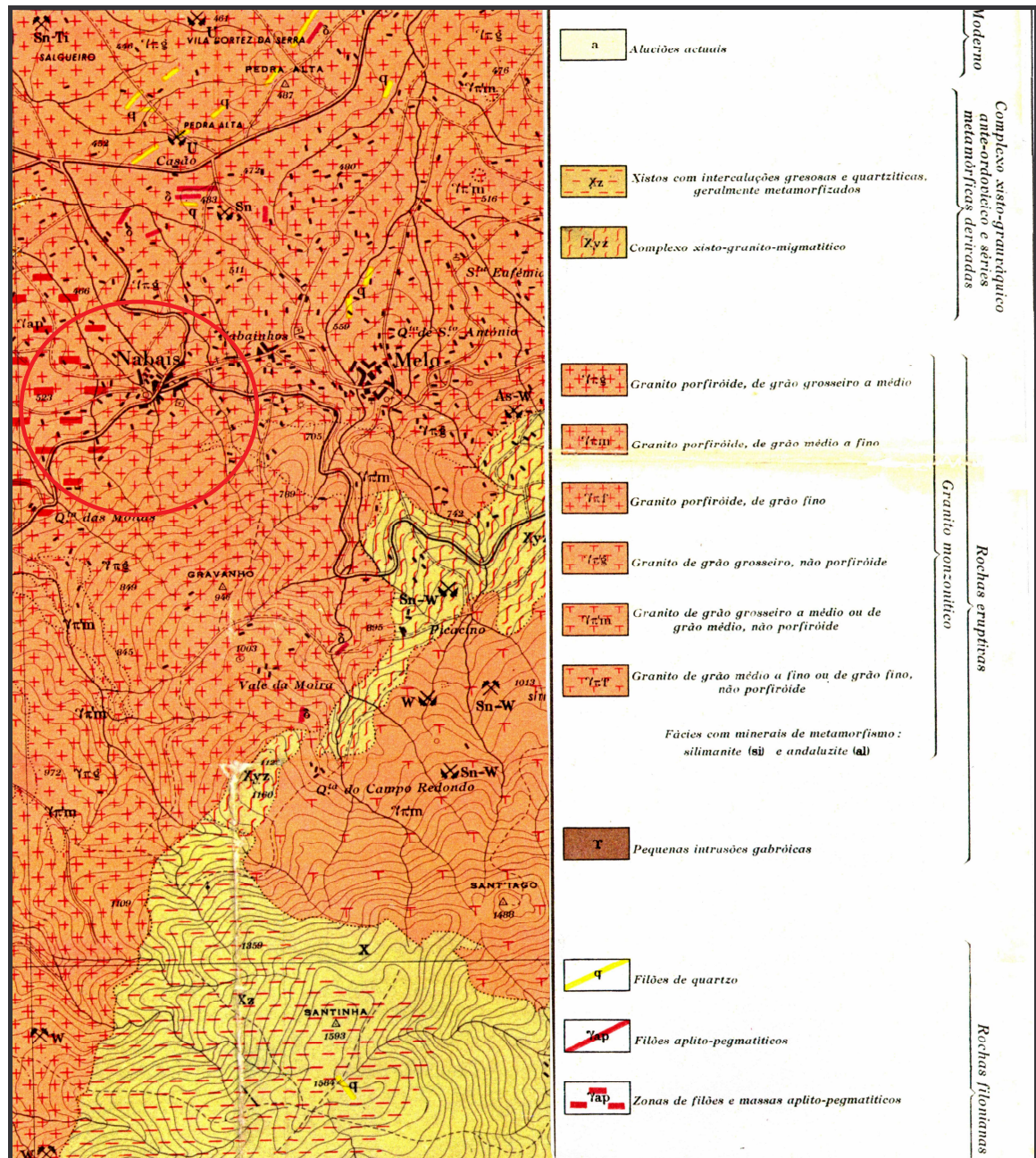


Fig. 115- Localização da área amostrada no Distrito da Guarda (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50000, Gouveia, folha 17-D)

A região estudada é formada essencialmente por terrenos graníticos e xistosos. O granito exhibe aspectos texturais diferentes tratando-se em geral de granito monzonítico, de duas micas, predominantemente biotítico.

A série xistosa denota grande metamorfismo, especialmente nas zonas de contacto com o granito, e é formada por xistos argilosos, xistos quartzo-micácios e grauvaques.

Predominam os filões quartzosos e também são visíveis filões de rochas básicas. Os depósitos modernos são constituídos por argilas e arcoses, por vezes com carácter conglomerático.

São muito numerosos os afloramentos de granito de grão médio a fino ou fino, constituindo, na maior parte, diferenciações no meio do granito porfiróide de grão grosseiro.

As amostras retiradas nesta área têm as referências M1 a M20.

8.4.4 Depósito do Cabeço da Argemela

A área amostrada no Concelho do Fundão e Distrito de Castelo Branco, de que se representa um extracto da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000 (fig. 117), insere-se no complexo xisto grauváquico ante-ordovícico e séries metamórficas derivadas.



Fig. 116- Vista do Cabeço da Argemela

O microgranito do Cabeço da Argemela (fig.116) foi objecto de uma amostragem sistemática superficial e de uma campanha de sondagens mecânicas com vista à avaliação da qualidade do material.

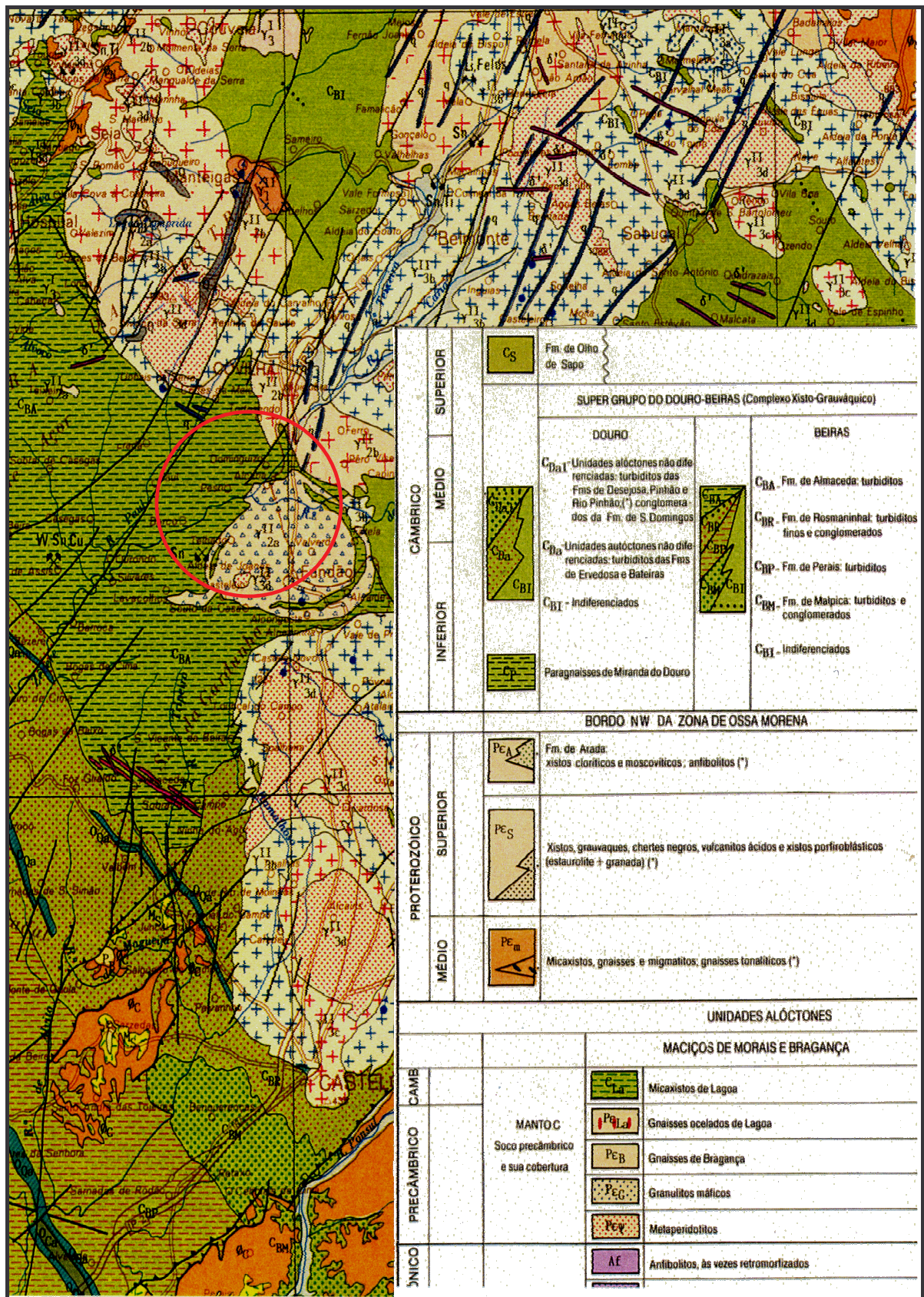


Fig. 117 - Localização da área amostrada no Distrito de Castelo Branco (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:500 000)

Amostragem superficial do microgranito do Cabeço da Argemela e respectivos resultados.

Na amostragem sistemática de superfície, do microgranito, foram colhidas dezasseis amostras, numa rede de amostragem com cerca de 30 metros de malha e ao longo de todo o afloramento, cujos resultados das análises químicas efectuadas bem como os respectivos cálculos modais aproximados apresentam-se no quadros 42 e 43 (Cruz, 2001), que se apresenta em seguida:

Quadro 42- Cabeço da Argemela: Resultados da Amostragem Superficial - Análise química (%)

<i>Ref^a.da Amostra</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>Na₂O</i>	<i>CaO</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>TiO₂</i>
A1	68,6	18,12	0,37	2,99	5,55	0,28	1,48	<0,04
A2	67,5	18,95	0,22	2,79	5,11	0,11	1,27	<0,04
A3	68,6	18,16	0,23	2,82	5,48	0,41	1,51	<0,04
A4	66,9	19,08	0,19	3,01	5,98	0,07	1,57	<0,04
A5	68,8	17,99	1,01	3,53	4,29	0,14	0,98	<0,04
A6	69,7	18,01	0,24	2,25	5,87	0,11	1,67	<0,04
A7	65,8	19,36	0,23	2,79	5,62	0,21	2,34	<0,04
A8	68,7	18,07	0,24	2,64	5,53	0,08	1,64	<0,04
A9	68,6	18,47	0,32	2,28	5,81	0,11	1,63	<0,04
A10	68,5	18,65	0,38	2,33	5,92	0,08	1,43	<0,04
A11	68,6	18,31	0,26	2,54	5,85	0,17	1,62	<0,04
A12	69,6	17,32	0,69	3,01	4,65	0,13	1,57	<0,04
A13	70,5	18,86	0,87	3,08	4,20	0,07	1,13	<0,04
A14	68,3	18,27	0,25	2,71	5,98	0,09	1,59	<0,04
A15	70,3	17,09	0,31	2,85	3,95	0,87	1,31	<0,04
A16	69,2	17,97	0,50	3,17	4,68	0,09	1,72	<0,04

Quadro 43 - Cabeço da Argemela: Resultados da Amostragem Superficial - Cálculo modal aproximado (%)

<i>Ref^a.da Amostra</i>	<i>Feld.Na</i>	<i>Feld.K</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinite</i>	<i>Eq.Biotite²³</i>	<i>Feld.Ca</i>	<i>Apatlte</i>	<i>Ilmenite</i>
A1	46,91	15,42	23,79	5,03	0,96	0,00	3,51	<0,08
A2	43,19	14,41	26,54	7,14	0,57	0,00	3,01	<0,08
A3	46,32	14,57	24,96	5,19	0,61	0,00	3,57	<0,08
A4	50,54	15,85	21,55	4,17	0,24	0,00	3,71	<0,08
A5	36,26	18,01	31,72	5,21	2,32	0,00	2,32	<0,08
A6	49,61	11,31	27,94	3,69	0,37	0,00	3,95	<0,08
A7	47,51	14,51	23,59	4,91	0,34	0,00	5,54	<0,08
A8	46,74	13,61	27,57	4,18	0,37	0,00	3,88	<0,08
A9	49,02	11,39	27,29	4,35	0,57	0,00	3,86	<0,08
A10	50,04	11,62	26,19	4,37	0,73	0,00	3,36	<0,08
A11	49,44	11,51	27,42	4,23	0,42	0,00	3,83	<0,08
A12	43,11	15,19	27,63	5,67	0,36	0,00	3,71	<0,08
A13	45,47	21,38	20,59	5,67	0,31	0,00	2,67	<0,08
A14	50,37	14,01	24,23	3,71	0,39	0,00	3,76	<0,08
A15	33,39	14,77	35,26	5,74	0,53	0,00	3,11	<0,08
A16	49,44	15,36	23,41	4,42	0,29	0,00	4,07	<0,08

²³ O termo equivalente em biotite resulta do facto de se considerar que todo o ferro detectado estará sob a forma de biotite (situação mais desfavorável em termos de purificação).

Por sua vez, o aspecto das pastilhas de cozedura do material dessas dezasseis amostras pode ser observado na figura 118.

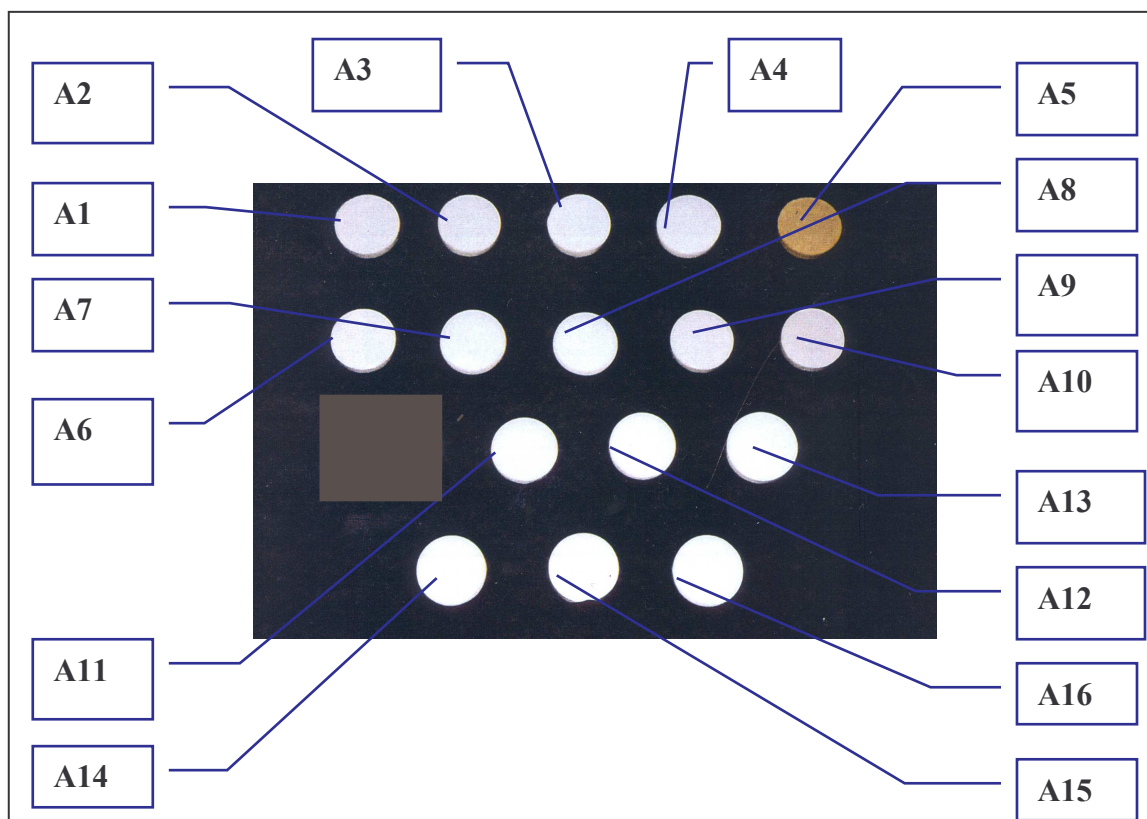


Fig. 118- Cor das pastilhas da cozedura das amostras

A referida amostragem permitiu concluir o seguinte:

- Trata-se dum material rico em feldspato sódico, cujo teor nesse material varia entre 33% e 50%.
- O feldspato potássico ocorre sempre em menor quantidade (entre 11% e 21%). A relação feldspato sódico/feldspato potássico é, assim, da ordem de 2/1.
- O teor em quartzo varia entre 20% e 30%. Exceptuando dois casos em que ultrapassa os 30% (Amostras A5 e A15).
- Os teores em Fe_2O_3 variam entre 0,2% e 0,5%, sendo raros teores mais elevados. Apenas uma amostra (A5) apresenta teor em Fe_2O_3 francamente superior (1,01%). Trata-se duma amostra duma pequena área NE do afloramento (com cerca 750 m²)

que efectivamente revela uma contaminação muito para além do normal. Contudo, o material ao longo do afloramento revela teores em Fe_2O_3 baixos e uma boa cor branca (fig.119).



Fig. 119- Aspecto duma pequena frente resultante de um desmonte experimental

- Constata-se alguma caulinização do material (teores em caulinite entre 4% e 6%), como se pode observar na figura 120



Fig. 120 – Algumas evidências de caulinização

- Por outro lado, o material parece não conter contaminantes significativos para a indústria cerâmica. Ocorre apenas alguma apatite (entre 2% e 4%), há quantidades insignificantes de ilmenite e parece não ocorrer feldspato cálcico.
- A cor do material após cozedura é bastante branca. A única exceção diz respeito à citada amostra A5, na zona NE do afloramento.
- Revela-se um material de boa fusibilidade, devido à elevada percentagem de feldspato sódico.
- De qualquer modo, saliente-se que ao longo de toda a amostragem sistemática do afloramento, com área superior a 1 hectare, se constata uma elevada constância e regularidade da qualidade do material aflorante.

Pode afirmar-se que ao longo do afloramento apenas se notam algumas variações junto aos contactos da formação numa espessura reduzida (normalmente não mais de meio metro), isto para além do pequeno sector NE desse afloramento representado na amostragem superficial sistemática pela amostra A5.

Nestas circunstâncias, a composição mineralógica média do material a extrair (quadro 44), será:

Quadro 44 – Composição mineralógica média do material do Cabeço da Argemela

• Feldspato sódico	46,08%
• Feldspato potássico	15,56%
• Quartzo	24,67%
• Caulinite	4,86%
• Equiv.Biotite	0,55%
• Feldspato Cálcico	0,00%
• Apatite	3,39%
• Outros	4,65%

Trata-se dum material com um elevado teor em feldspato sódico e potássico (cerca de 61 %), um reduzido teor em quartzo (25%), uma pequeníssima quantidade de ferro, bem como a ausência de contaminantes prejudiciais à sua utilização na indústria cerâmica, o que lhe confere uma boa cor branca, quer em cru, quer em cozido, assim com uma elevada fusibilidade.

Tudo indica que se trata dum material de qualidade, com características muito adequadas à utilização como fundente nas indústrias cerâmicas, por si só ou misturado com outros fundentes feldspáticos, consoante as especificações comerciais a contemplar.

A elevada continuidade do afloramento e as suas boas condições estruturais (com dimensões da ordem dos 150 x 110 metros) permitem mesmo, numa fase posterior, prever a possibilidade de desmonte, ainda a céu aberto, mas em profundidade, com esgoto forçado. Nessas circunstâncias, com meios de extracção já mais complexos, podem-se obviamente mesmo prever maiores recursos potenciais.

Visando um cálculo das respectivas reservas minerais realizaram-se sondagens, para pormenorizar as características e qualidade do material, nas áreas e profundidades previstas para essa extracção.

Campanha de sondagens

Foi seleccionada uma parcela da formação onde se prevê ser possível iniciar o ataque para a sua extracção, pelo que foram realizados seis furos verticais de sondagem, espaçados entre 20 e 30 metros, com recolha de amostras em profundidade, até cotas próximo dos 700 metros, a que correspondeu uma furação com o comprimento total de 228 metros. A localização desses furos está representada na figura 121, e os respectivos logs na figura 122.

Esses furos de sondagem foram executados recorrendo a uma sonda de perfuração com martelo de fundo de furo, com diâmetro de 5,5" e 6,5" e com colheita de amostra do material desagregado à boca do furo.

O aspecto das amostras obtidas em profundidade revelou semelhança com o das amostras superficiais, o que revela uma boa continuidade e constância de qualidade do material da formação em profundidade.

Foi efectuada uma furação através de sondagens curtas (o furo de maior comprimento é de 46,5 metros), que atingiu cotas da ordem dos 700 metros, com a excepção da Sondagem S.3, em que se foi abaixo daquela cota.

As sondagens foram projectadas e localizadas de modo a possibilitarem um posterior cálculo de reservas minerais. As suas profundidades variaram entre os 28,5 e os

46,5 metros para espaçamentos entre furos da ordem dos 20 a 30 metros e não evidenciaram acidentes tectónicos para além da passagem do diaclasamento do maciço. As alterações do material detectadas na passagem das diaclases são muito reduzidas (apenas se nota um ligeiro amarelecimento do material).

Foram definidas três famílias de diaclases, duas sub-verticais com direcções N 30°W e N 80°E com espaçamentos que variam entre 500 mm e vários metros. Por sua vez, a família de diaclases sub-horizontal apresentou normalmente espaçamento da ordem de um metro.

A notável regularidade e homogeneidade do material da formação, apenas perturbado por alterações numa zona muito limitada do seu contacto com a rocha encaixante (normalmente numa espessura que não é superior a meio metro), bem como no extremo NE do afloramento (numa pequena área de cerca 750 m²), a boa forma do afloramento e a constância da qualidade do material em profundidade, pelo menos até à cota de 700 metros, permite um fácil cálculo das reservas minerais susceptíveis de extracção a céu aberto e com esgoto natural.

Foi corrigida a cota de base dum futuro desmonte a céu aberto, a longo prazo, com esgoto natural, dos 700 m para os 705 m atendendo às condições topográficas do afloramento, que servirá de referência à determinação dos potenciais recursos em microgranito extraíveis em boas condições económicas.

Foram definidas as condições do afloramento do microgranito do Cabeço da Argemela que apresenta dimensões superiores às previamente indicadas. Na realidade, dentro da área de prospecção e pesquisa, as dimensões do afloramento são grosseiramente da ordem dos 200 m x 180 m.

Estas boas dimensões do afloramento, a elevada continuidade e constância de qualidade do seu material, bem como o ritmo/ano de extracção perspectivado, conduziram à opção de se efectuar uma campanha de sondagens que englobasse apenas a parte do afloramento considerada para a extracção do material a curto e médio prazos e que fornecesse pormenores sobre a qualidade do material nas áreas e profundidades previstas para a exploração. Houve contudo o cuidado de prolongar os furos das sondagens, de modo a atingir-se a cota de 705 m que constituía base final da extracção prevista, a longo prazo (fig.122).

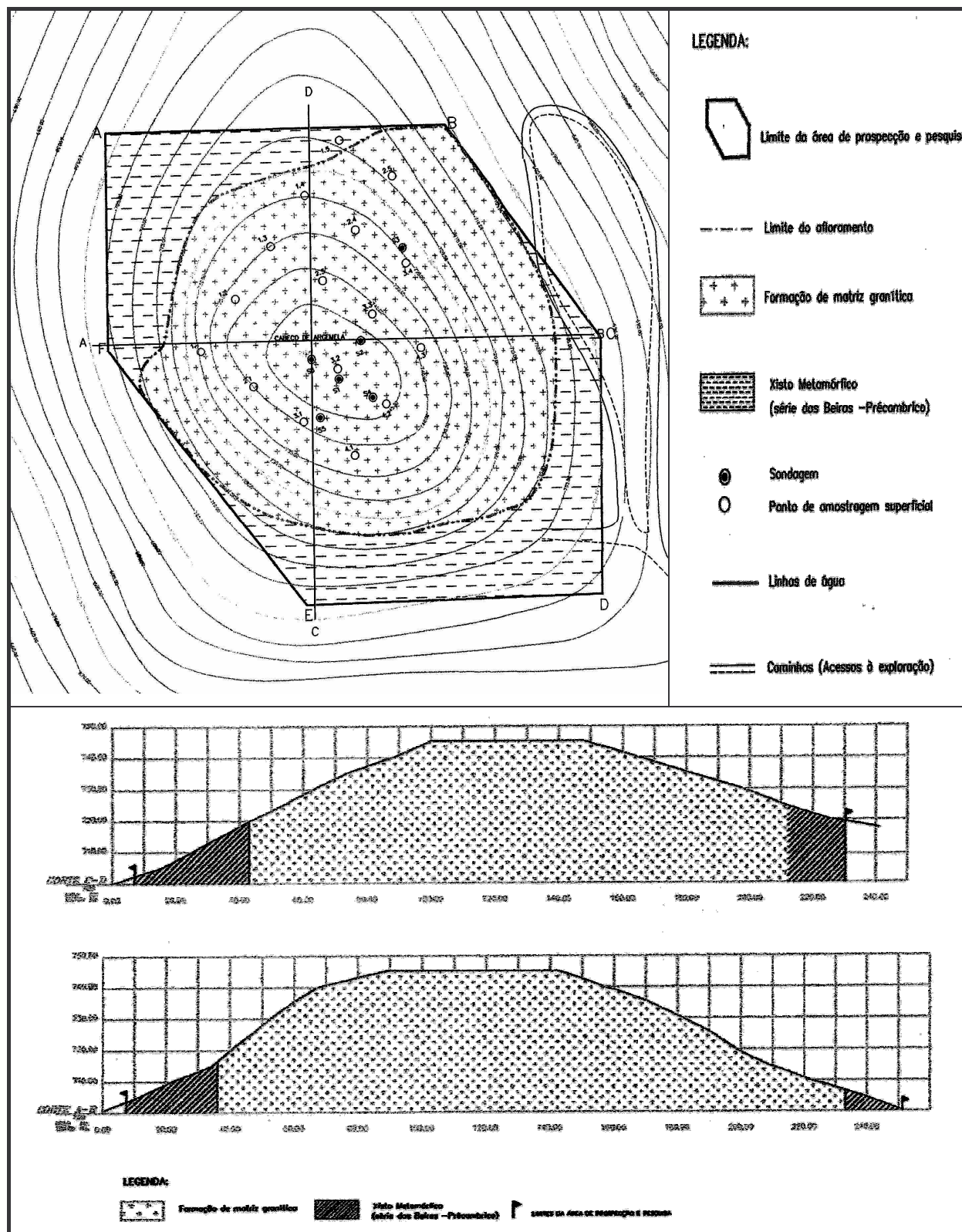


Fig. 121 – Planta e cortes do afloramento (Esc.: 1/2000)

A campanha de sondagens efectuada confirmou uma notável regularidade e homogeneidade do material da formação, para os fins em vista, pelo menos até às

profundidades sondadas (cotas de fundo do furos da ordem dos 705 metros).

As boas dimensões do afloramento, a sua continuidade e a qualidade do material da formação, permitiram seguir o critério duma pesquisa selectiva do afloramento, tendo sido escolhida uma área para estudos de pormenor e que poderá corresponder à zona inicial de extracção.

As amostras colhidas nas sondagens, dada a sua homogeneidade, foram agrupadas para as determinações químicas a efectuar de harmonia com uma observação macroscópica prévia, num plano que se apresenta referenciado nos "logs" simplificados daquelas sondagens e que estão representados na figura 122.

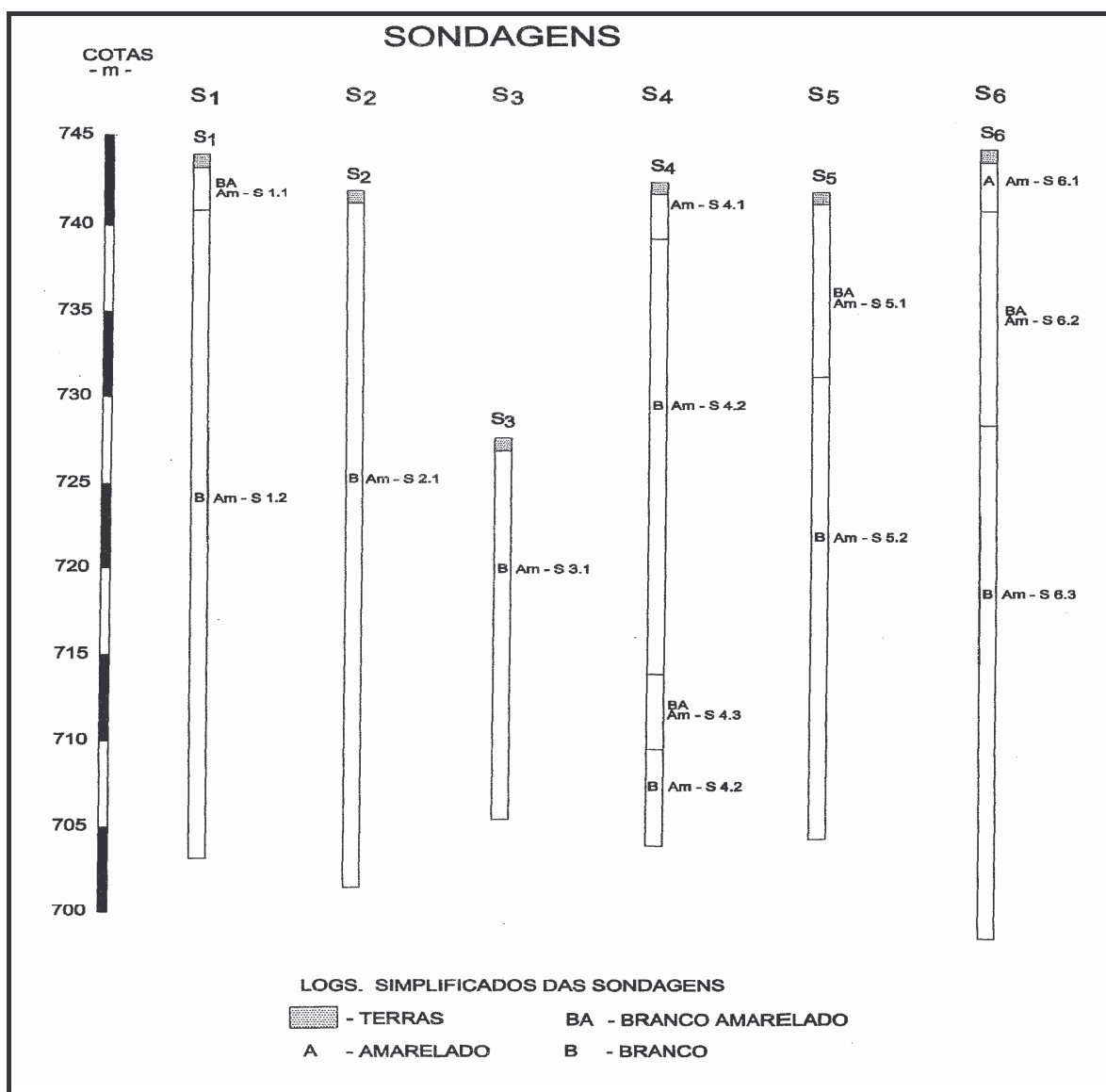


Fig. 122 – “Logs” das sondagens (simplificados)

Apresenta-se também, a seguir, o quadro dos resultados das análises químicas e respectivo cálculo modal aproximado (quadros 45 e 46).

Quadro 45- Cabeço da Argemela: resultados das sondagens (Cruz, 2001) - análise química (%)

Ref ^a da Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	TiO ₂
S.1.(13m)	68,43	19,01	0,28	3,05	4,72	0,17	1,33	<0,04
S.1.2 (36m)	69,46	18,07	0,25	3,01	5,39	0,24	1,55	<0,04
S.2.1 (38m)	69,78	18,41	0,24	2,91	5,02	0,12	1,57	<0,04
S.3.1 (15m)	68,94	18,61	0,28	2,94	5,31	0,24	1,33	<0,04
S.4.1 (4,5m)	70,26	17,97	0,29	2,73	4,78	0,07	1,46	<0,04
S.4.2 (25m)	70,33	17,66	0,27	2,83	2,67	0,89	1,59	<0,04
S.4.3 (1,5m)	70,26	17,85	0,37	2,79	1,28	0,96	1,06	<0,04
S.5.1 (9m)	69,08	18,39	0,27	3,04	4,42	0,51	1,38	<0,04
S.5.2 (9m)	70,39	17,83	0,24	3,12	4,71	0,27	1,29	<0,04
S.6.1 (3m)	66,75	21,92	0,33	2,94	1,11	0,04	0,08	<0,04
S.6.2 (12m)	69,73	18,24	0,39	2,94	3,85	0,21	0,36	<0,04
8.6.3 (17m)	69,51	18,31	0,25	2,96	5,1	0,26	1,61	<0,04

Quadro 46 - Cabeço da Argemela: resultados das sondagens (Cruz, 2001) – cálculo modal aproximado (%)

Ref ^a da Amostra	Feld. Na	Feld. K	Quartzo	Caulinite	Eq.Biotite ²⁴	Feld. Ca	Apatite	Ilmenite
S.1.(13m)	39,89	16,63	27,79	7,92	0,47	0,00	3,15	<0,08
S.1.2 (36m)	46,56	15,79	25,67	5,51	0,39	0,00	3,67	<0,08
S.2.1 (38m)	42,43	15,15	28,75	6,66	0,37	0,00	3,71	<0,08
S.3.1 (15m)	44,88	15,37	25,89	6,32	0,46	0,00	3,71	<0,08
S.4.1 (4,5m)	39,89	13,95	31,31	6,93	0,49	0,00	3,50	<0,08
S.4.2 (25m)	22,57	14,71	43,24	11,1	0,44	0,00	3,76	<0,08
S.4.3 (1,5m)	10,82	14,36	51,79	14,73	0,71	0,00	2,51	<0,08
S.5.1 (9m)	37,36	15,94	31,05	8,21	0,44	0,00	3,27	<0,08
S.5.2 (9m)	39,81	16,46	30,02	6,31	0,37	0,00	3,05	<0,08
S.6.1 (3m)	9,31	15,28	48,31	20,31	0,61	0,00	0,19	<0,08
S.6.2 (12m)	32,54	15,21	36,06	9,99	0,78	0,00	0,85	<0,08
8.6.3 (17m)	43,19	15,47	27,38	6,31	0,43	0,00	3,81	<0,08

Em seguida apresentam-se as pastilhas resultantes da cozedura das amostras das mesmas sondagens (fig. 123).

²⁴ Neste caso o termo “equivalente em biotite” resulta do facto de se considerar que todo o ferro detectado estaria sob a forma de biotite (situação mais desfavorável para a purificação do material).

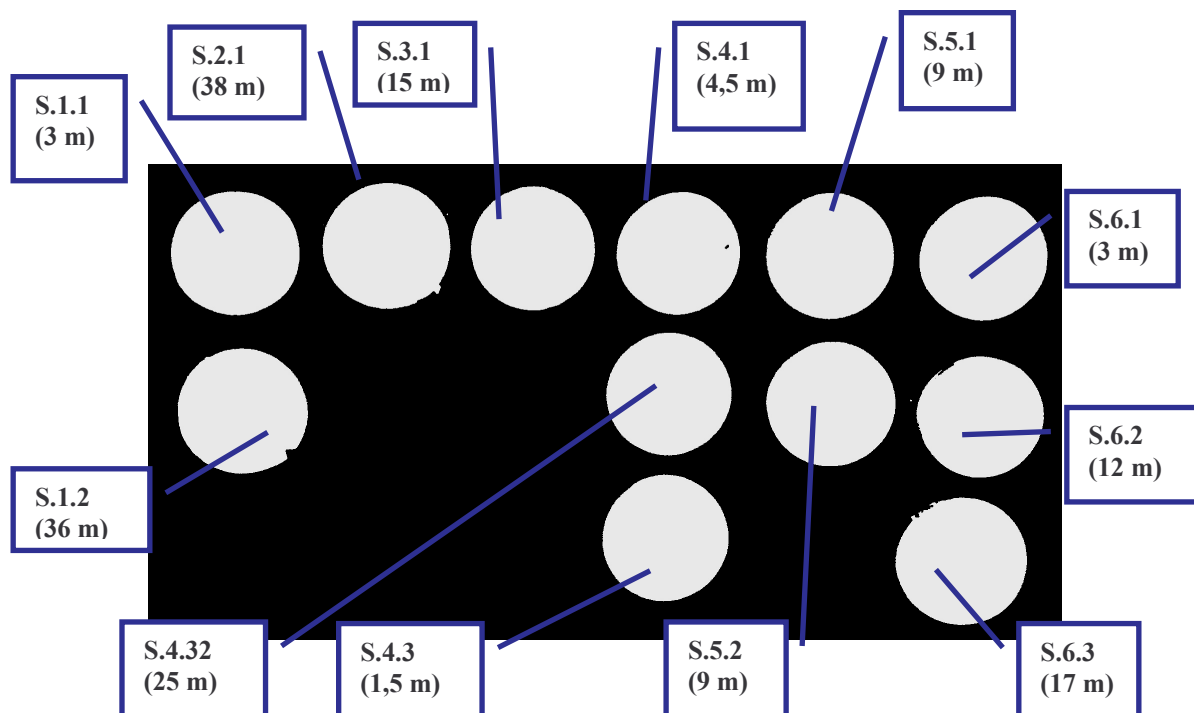


Fig. 123- Pastilhas da cozedura das amostras

As principais conclusões a retirar, são as seguintes:

- Confirma-se a homogeneidade da formação, em profundidade, podendo afirmar-se que as variações detectadas não afectam a aplicação prevista para o material. Isto é: a formação pode ser considerada como um todo, sem volumes de material a rejeitar.
- Apenas se constata, em profundidade, um aumento da caulinização (em termos médios de 4,86% de caulinite à superfície, para 9,2% em profundidade).
- A circunstância acima arrasta uma redução do feldspato sódico (de 46,93% para 30,6%) e um pequeno aumento do teor em quartzo (de 25,24% para 33,9%), mas para a referida redução do feldspato sódico pode ter também concorrido a amostragem efectuada, que origina perdas para a atmosfera, porque as sondagens foram do tipo destrutivo e o pó gerado não foi susceptível de ser contido, na íntegra, nessa amostragem.
- De qualquer modo, as variações referidas não prejudicam a prevista aplicação do material, como fundente feldspático.

Deste modo, tendo em conta a estrutura do afloramento e a origem do microgranito do Cabeça da Argemela, dotado de encostos praticamente verticais, a elevada constância de

qualidade do seu material, bem como as condições topográficas locais (o afloramento ocupa toda a área do Cabeço da Argemela), tudo indica que uma boa parte do material da formação, para cima da cota 700 metros, pode ser extraído em flanco de encosta, a céu aberto (fig. 124), com esgoto natural da frente de desmonte. Isto é, os potenciais recursos susceptíveis de fácil extracção parecem ser superiores a um milhão de toneladas de material.

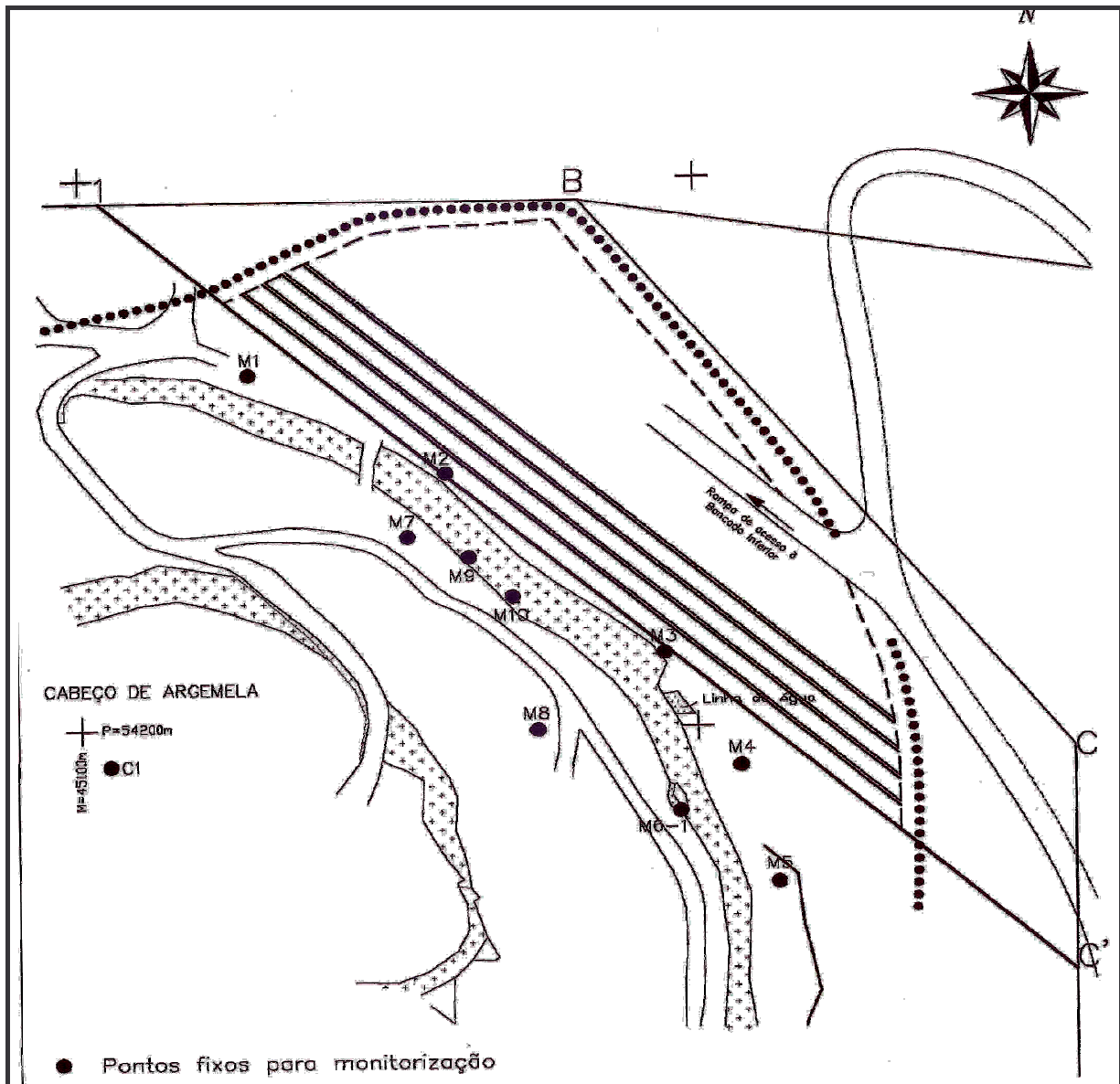


Fig. 124 – Representação em planta do flanco de encosta projecto (Esc.: 1/1000)

As amostras retiradas nesta área têm as referências A1 a A16.

9. ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios laboratoriais realizados têm como principal objectivo determinar as características mineralógicas e químicas do feldspato e quartzo, bem como as propriedades mais importantes para as respectivas aplicações industriais.

9.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica permite ter uma ideia sobre a natureza da matéria-prima a estudar e possibilita determinar, recorrendo a ensaios complementares, propriedades fornecem informações mais exactas sobre as amostras a analisar.

Relativamente ao feldspato, a fracção granulométrica $> 63 \mu\text{m}$ é a que se reveste de maior interesse pois contém maior percentagem daquele material.

Na indústria cerâmica a granulometria dos materiais é um factor preponderante nas propriedades do produto final. Por este motivo é necessário fazer o controlo das partículas para produção de materiais cerâmicos.

A figura 125 representa as curvas granulométricas de algumas amostras obtidas no Distrito da Guarda.

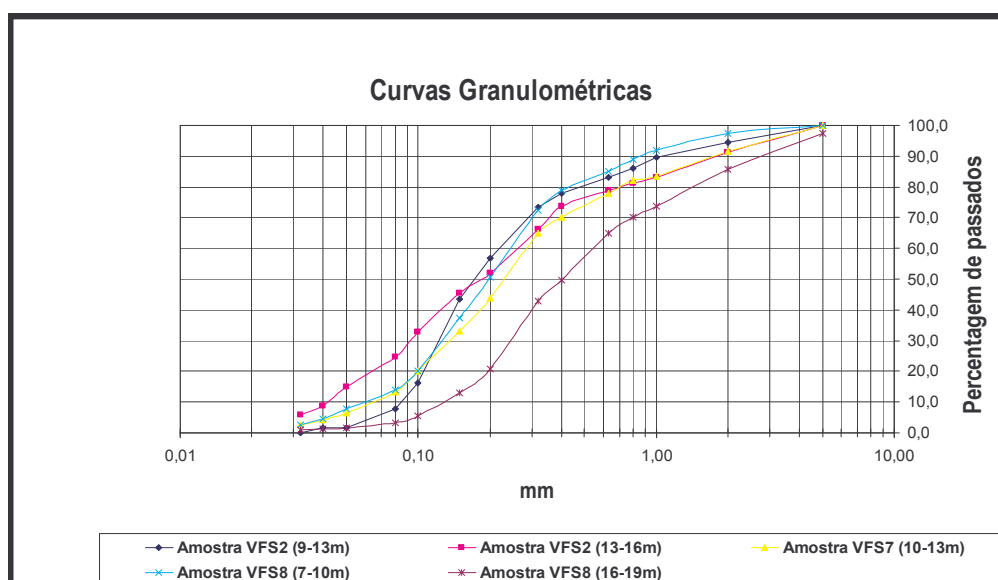


Fig. 125 - Distribuição granulométrica de algumas amostras do Distrito da Guarda

Quadro 47 – Percentagens de passados

(%) Passados					
Peneiros (mm)	Amostra VFS2 (9-13m)	Amostra VFS2 (13-16m)	Amostra VFS7 (10-13m)	Amostra VFS8 (7-10m)	Amostra VFS8 (16-19m)
5,000	100	100,0	100,0	100,0	97,3
2,000	94,6	91,3	91,6	97,5	85,6
1,000	89,5	83,0	83,5	92,0	73,7
0,800	86	81,2	82,0	88,8	70,0
0,630	83,0	79,0	78,0	85,1	65,0
0,400	77,9	73,6	70,1	78,8	49,7
0,320	73,3	66,3	64,8	72,3	42,8
0,200	56,8	51,8	43,8	50,8	20,7
0,150	43,6	45,4	33,2	37,5	12,9
0,100	16,2	32,9	20,1	20,2	5,4
0,080	7,7	24,7	13,4	13,9	3,4
0,050	1,7	15,0	6,6	7,7	1,7
0,040	1,5	8,9	4,2	4,7	1,3
0,032	0,0	5,8	2,7	2,6	1,0

Na natureza, uma grande parte das matérias-primas encontra-se sob a forma de aglomerados de partículas e, se pretendemos utilizá-las na indústria, é necessário promover a sua desagregação ou moagem.

9.1.1 Preparação das amostras

9.1.1.1 Moagem

A moagem a realizar nas amostras é função da tipologia dos depósitos, e pode operar-se em três, duas ou uma etapa, correspondendo cada uma delas à utilização de um aparelho de fragmentação ou moagem diferente, relativamente às quais se explica em seguida o respectivo procedimento experimental.

1ª etapa – Redução a fragmentos utilizando um martelo ou uma prensa hidráulica (fig.126).

2ª etapa – Redução a partículas de calibre da ordem dos 1-2 mm de lado, utilizando um moinho de maxilas (fig.127).

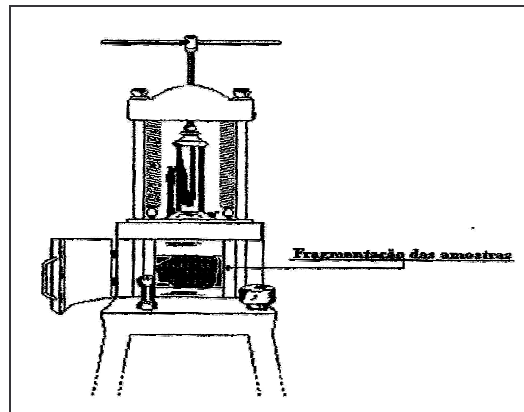


Fig. 126 - Prensa hidráulica

Procedimento experimental:

Liga-se o moinho e com a ajuda de um copo introduz-se um pouco da amostra dentro do moinho, tendo o cuidado de se regular previamente a abertura das maxilas de acordo com as dimensões fraccionadas da amostra. Em seguida tira-se a amostra da caixa “destino” que se encontra dentro do moinho, e coloca-se dentro de um tabuleiro. Por último, ensaca-se a amostra num saco devidamente referenciado. Esta etapa prepara o material para o peneiramento.

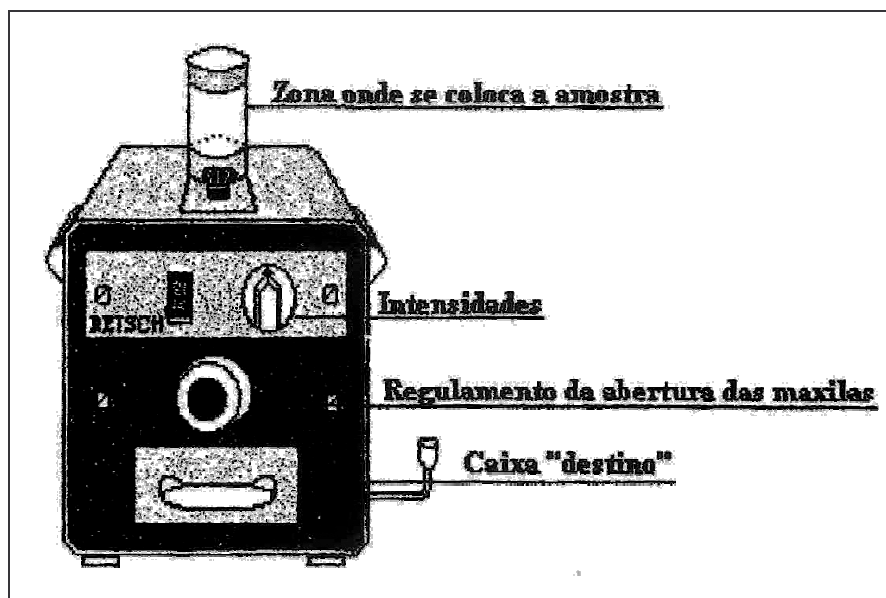


Fig. 127 - Moinho de maxilas para pequenas quantidades

3ª etapa – Redução a pó muito fino com o auxílio do moinho de ágata (fig.128) ou moinho de anéis de ágata (fig.129).

Caso se possua uma pequena quantidade de amostra pode utilizar-se o almofariz.

Esta etapa segue-se ao peneiramento e secagem da amostra, destinando-se o material a posteriores ensaios.

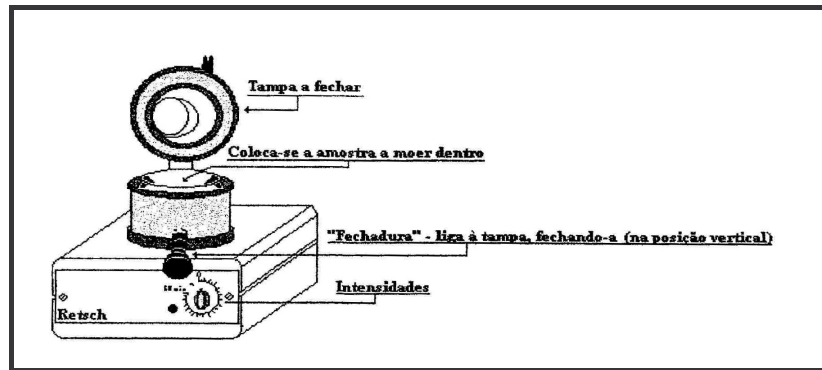


Fig. 128 - Moinho de ágata

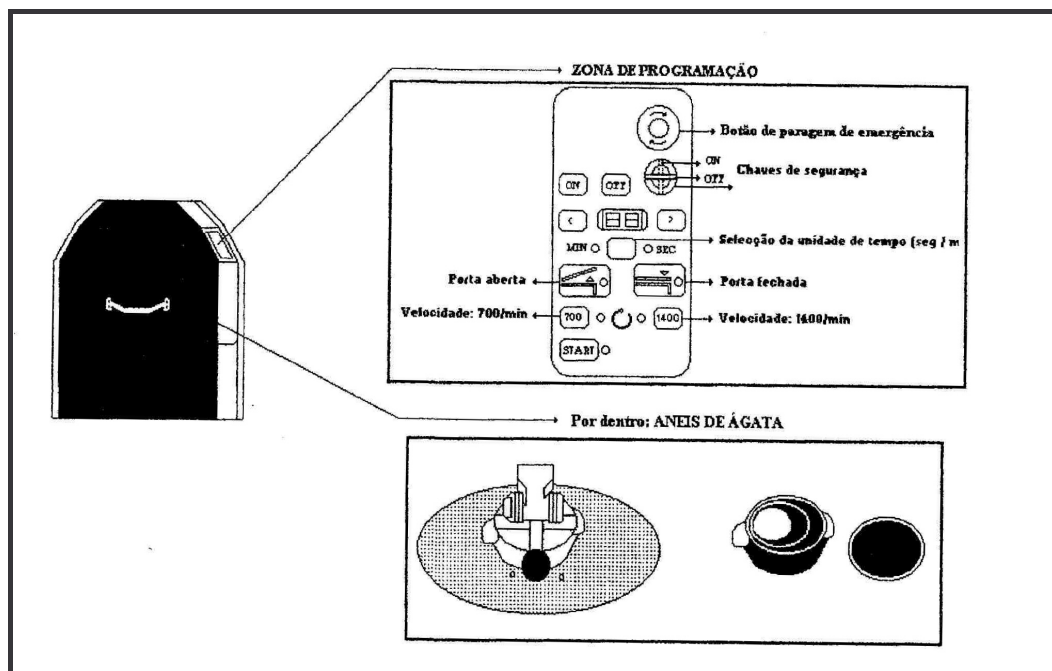


Fig. 129 - Moinho de anéis de ágata

9.1.1.2 Quarteamento

Esta técnica é usada apenas para as arcoses antes de se efectuar o peneiramento a seco.

Esta técnica é usada para se obter a quantidade necessária de amostra a submeter aos ensaios de laboratório, assegurando que ao diminuirmos ao peso da amostra inicial, a quantidade de amostra final pretendida assegura uma boa representatividade.

A figura 130 ilustra o procedimento a utilizar na técnica de quartejamento.

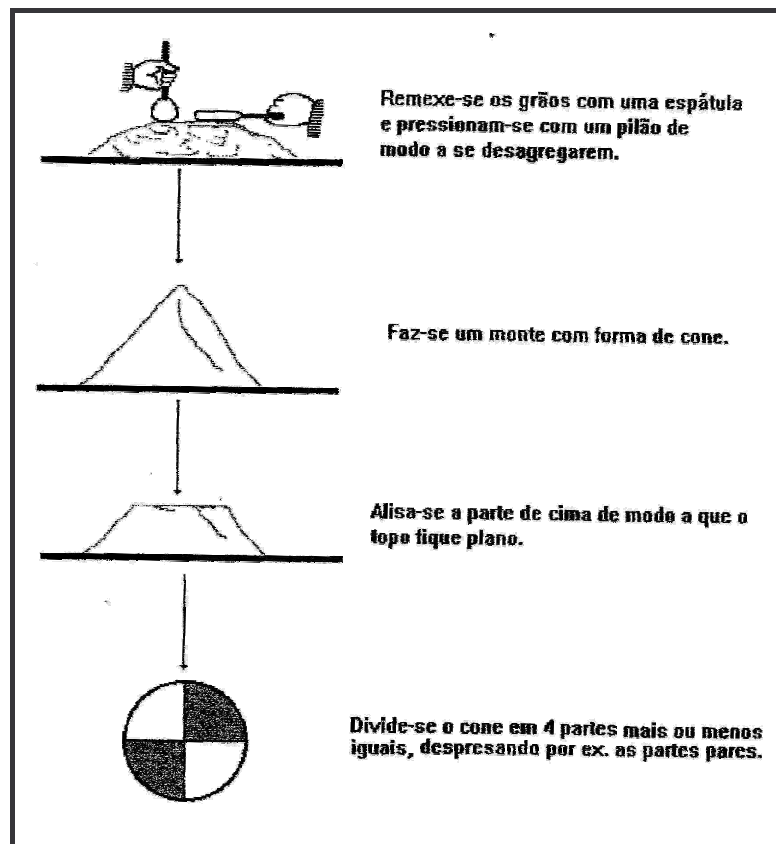


Fig. 130 - Esquema do quartejamento

Em seguida recuperam-se duas partes opostas e repete-se o procedimento anterior, até que a parte que resta tenha aproximadamente a quantidade desejada.

O quartejamento faz com que haja uma maior probabilidade de se encontrar uma melhor distribuição mineralógica, e uma maior representabilidade do jazigo.

9.1.1.3 Peneiramento a húmido (para o feldspato)

Procedimento experimental

Num peneiro de malha de 63 μm e usando água, peneira-se pouca quantidade da amostra de cada vez, separando-se a fracção inferior a 63 μm da superior a 63 μm . Em seguida colocam-se as amostras obtidas do peneiramento em tabuleiros devidamente referenciados, duas das quais serão colocadas na estufa.

9.2 Análise química

9.2.1 Análise química por espectrofotometria de chama (determinação de Na e K)

A fotometria de chama permite, apenas, determinar os metais alcalinos Na, K e Li.

As amostras dos materiais a analisar depois de terem sido diluídas (ver procedimento experimental) são atomizadas, utilizando ar comprimido, numa chama (acetileno) e os elementos químicos presentes emitem radiações características.

A chama ao transmitir energia aos átomos faz com que os seus electrões sejam transferidos para níveis energéticos superiores.

Destes estados de energia meta-estáveis os electrões regressam aos respectivos estados fundamentais, situação a que corresponderão emissões de energia com comprimentos de onda característicos (fig. 131).

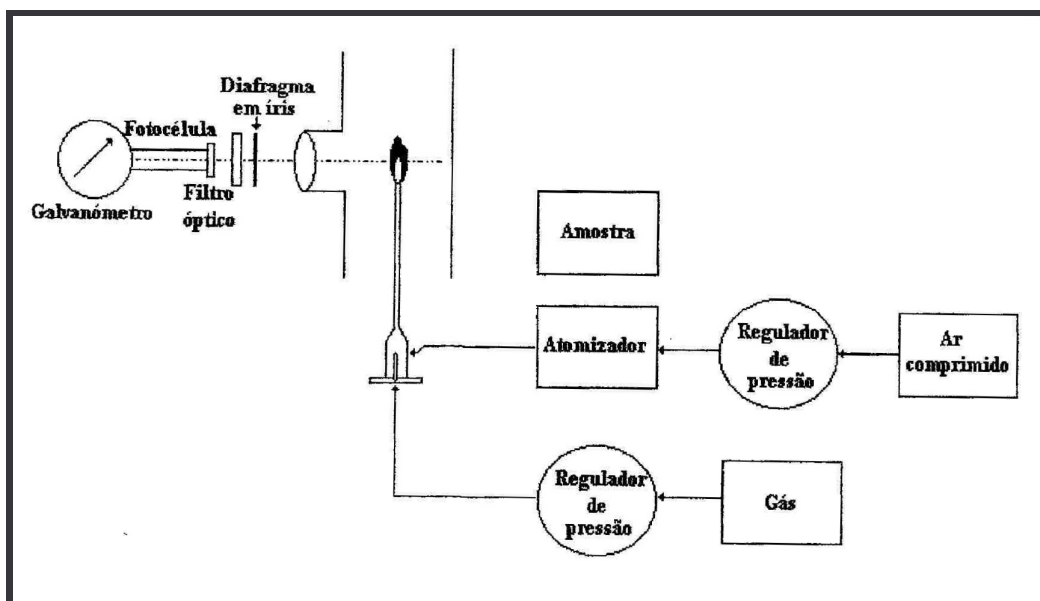


Fig. 131 - Representação esquemática dos componentes básicos de um espectrofotómetro de chama (Vogel, 1975).

Apenas 1% dos átomos aspirados na chama são excitados, e as radiações características são condensadas por meio de uma lente convexa, passando seguidamente por um diafragma tipo íris para um filtro óptico ou prisma monocromático, que só permitirá a transmissão ou selecção da radiação características do elemento a quantificar.

A radiação transmitida incidirá sobre uma célula fotoelétrica que produz uma corrente eléctrica fraca, cuja intensidade é proporcional à intensidade da radiação. A corrente é ampliada e medida por um galvanómetro sensível.

A leitura no galvanómetro é proporcional à concentração do elemento químico presente (Gomes, 1988). A figura 132 apresenta em esquema um espectrofotómetro de chama.

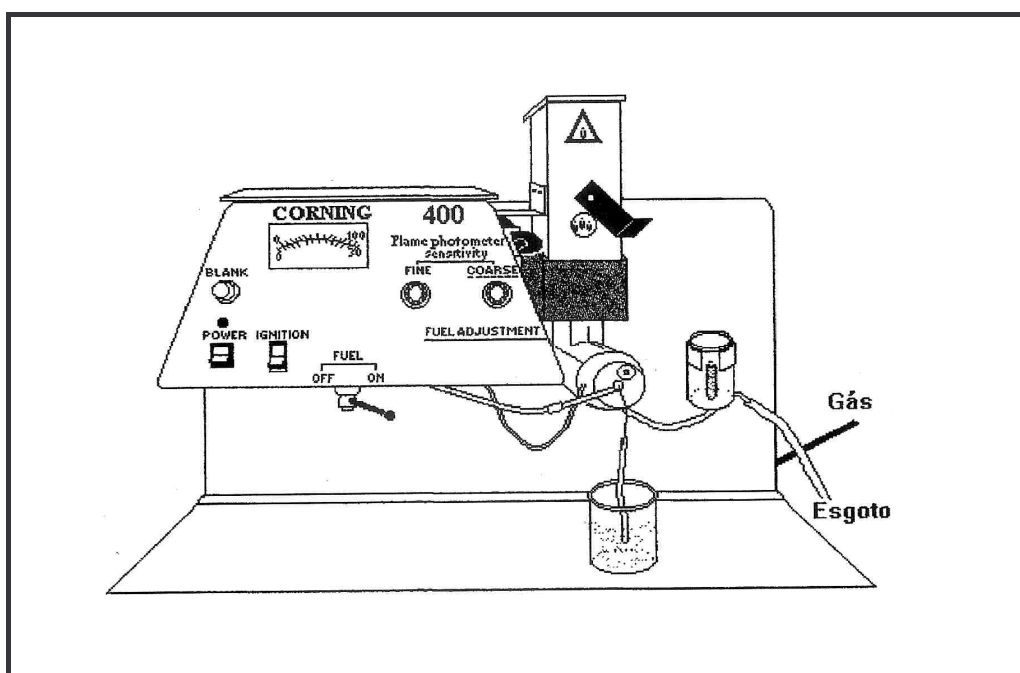


Fig. 132 - Fotómetro de chama

1ª fase

Junta-se com uma macropipeta de plástico 5 ml de HF (que destrói a sílica) mais 10 ml de mistura ácida e coloca-se o copo na chapa a 150° C, liga-se a *otte*, e deixa-se o líquido evaporar com libertação de fumos amarelos até secar (podendo ficar até 24 horas).

2ª fase

Adiciona-se mais 10 ml da mistura ácida, e coloca-se novamente na chapa até evaporar com libertação de fumos brancos (cerca de 24 horas).

O HNO_3 e a mistura ácida destroem os componentes óxidos e elementos pesados.

Retoma

Adiciona-se 15 ml de HNO_3 e deixa-se novamente na chapa durante aproximadamente 15 min., tapando-se previamente e baixando a temperatura da chapa para um valor inferior a 100° C.

Depois de decorrido esse tempo, para que as leituras sejam correctas, a solução deve estar completamente solubilizada, não apresentando resíduo sólido. Caso contrário deve proceder-se do seguinte modo: Filtra-se para um balão volumétrico de 250ml, utilizando para o efeito papel de filtro *Whatman* nº4, e adiciona-se água desmineralizada até ser atingida a marca dos 250 ml.

Depois de repetidas as fases anteriores, se ainda houver resíduo, deve-se filtrar a solução resultante da retoma para o balão volumétrico sem perfazer o volume.

O resíduo é então tratado em papel de filtro incinerado (isento de cinzas), pondo-o dobrado com o resíduo no seu interior, dentro de um cadinho de platina que irá à estufa (110°C) até à secagem do papel do filtro, começando assim, a fase de carbonização, já que o papel fica preto.

Retoma-se o resíduo levando o cadinho a um bico de Bunsen (que arderá muito lentamente), onde continuará a ser carbonizado e incinerado. A incineração chegará ao fim quando o papel ficar completamente branco, caso contrário a mufla deverá ser regulada para uma temperatura de cerca de 1000°C.

Repetindo o procedimento fazem-se novos ataques e nova retoma. A solução filtrada resultante da segunda retoma deve ser adicionada à solução resultante da primeira, que se encontra no balão volumétrico. Deixa-se arrefecer a solução até atingir a temperatura ambiente dado que o calor provoca a dilatação do balão. Este, ao arrefecer, produz uma subida do nível da água, a qual produz erro na determinação.

A calibragem do aparelho com soluções padrão do seguinte modo:

1º Acertar o zero do aparelho com água desmineralizada com o botão *Blank*, tendo o cuidado de deixar sempre o tubinho por onde se faz as leituras, submerso na água desmineralizada.

2º Acertar a absorvância 100 com o padrão 10ppm (do Na ou K), com o botão *sensitivity-fine* ou *sensitivity- coarse*.

3º Continuar a calibrar iniciando-se por 1,3,5,7,10ppm verificando se os 10 ppm correspondem à absorvância 100 ou se alterou; Caso tenha alterado, deve-se recalibrar o aparelho, repetindo as vezes necessárias a partir do segundo passo. É de salientar que as leituras de absorvância de emissão são produzidas pela chama resultante da queima de amostra, contida nos balões volumétricos.

Portanto, após a calibração do aparelho, devem fazer-se as seguintes leituras:

Quadro 48 – Leituras da solução padrão

Solução padrão (Na ou K) (ppm)	Absorvância
1	“valor lido”
3	“valor lido”
5	“valor lido”
7	“valor lido”
10	100

Quando se muda de filtro deve-se desligar o espectómetro de chamas para se efectuarem as leituras das soluções padrão.

Faz-se a leitura da amostra para Na e K.

Caso a concentração da amostra ultrapasse a escala do aparelho, tira-se uma alíquota (parte da toma) de 25 ml para um balão volumétrico de 100ml, com a ajuda de uma pipeta (que deve ser sempre lavada quando se muda de amostra), e completa-se o volume com água desmineralizada. Faz-se nova leitura, cujo resultado deverá ser multiplicado por 4, pois diluímos a mostra (100/25).

Caso a concentração da amostra continue a ultrapassar a escala do aparelho, reduz-se a toma para 10 ml, e coloca-se num balão volumétrico de 100ml, completando o que falta com água desmineralizada.

Neste caso o resultado terá de ser multiplicado por 10 (100/10). Este procedimento pode ser repetido sucessivamente.

Preparação da mistura ácida

$$V \text{HNO}_3 (\text{conc.}) = 625 \text{ ml}$$

$$V \text{H}_2\text{SO}_4 (1:1) = 250 \text{ ml}$$

$$V \text{água destilada} = 1625 \text{ ml}$$

Preparação de HNO_3 diluído ($V \text{ácido} : V \text{água} = 1:19$):

$$V \text{HNO}_3 (1:19) = 1 \times 2500 / 20 = 125 \text{ ml}$$

$$V \text{água destilada} = 19 \times 2500 / 20 = 2375 \text{ ml}$$

O ácido deverá ser sempre colocado sobre a água.

Preparação dos padrões de Na

Para se ter uma solução padrão 1000ppm de Na deve-se fazer o seguinte (fig.134):

$$\text{Mr}(\text{NaCl}) = 23 + 35,5 = 58,5$$

$$\text{Peso de NaCl contido em 1 gr de Na} = 1 \times 58,5 : 23 = 2,54 \text{ gr.}$$

Sabendo que 1 gr/L (Na) – 1000ppm

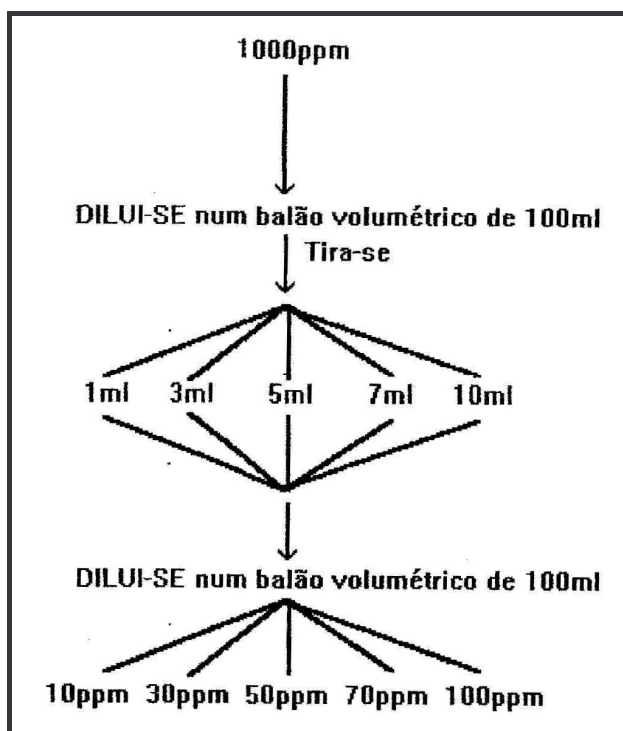


Fig. 133 - Preparação dos padrões de Na²⁵

²⁵ A preparação do padrão K segue o mesmo raciocínio.

9.2.2 Análise química por espectrometria de fluorescência de RX (FRX)

A espectrofotometria de fluorescência de raios x é uma técnica que permite a análise de elementos químicos maiores, que possuam o número atómico $Z > 9$ em concentrações compreendidas entre os 100% e poucos ppm²⁶.

A base técnica da FRX é o denominado efeito de absorção fotoelétrica, traduzido no seguinte modo: todos os elementos químicos presentes num espécime, são excitados por um feixe policromático de raios X primário com determinadas energias, emitindo radiações secundárias ou de fluorescência. Estas radiações são dispersas por cristais analisadores ou dispersores de modo que as radiações secundárias dos elementos possam ser resolvidas, e depois captadas por detectores dos tipos proporcionais e cintilações.

Finalmente, é necessária a correlação das intensidades medidas com os teores dos elementos químicos presentes (Andrade, 1990) (fig. 134).

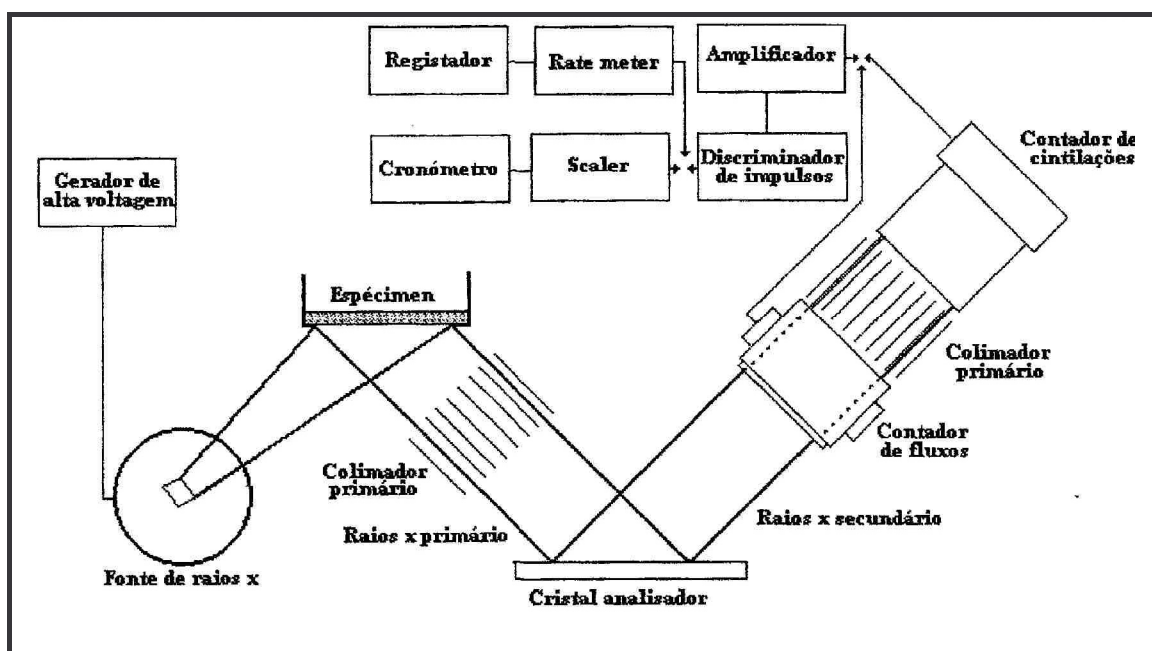


Fig. 134 - Representação esquemática dos componentes principais dum espectrómetro de raios x (Gomes, 1979).

Esta técnica utiliza as amostras sob a forma de discos fundidos, para a determinação de SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Ferro total, CaO, MnO e MgO. Foi utilizado um espectrómetro

²⁶ Sobre este assunto ver GOMES, Celso Figueiredo – *As argilas: o que são e para que servem*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.p.205-208.

Phillips composto por um gerador PW 1732/10, com unidade de comando PW 1390 e registador PM 8203.

A FRX não é um método absoluto, sendo a concentração de um determinado elemento calculada comparando a intensidade da radiação emitida por um elemento na amostra-problema com a intensidade da mesma radiação numa amostra padrão, contendo o mesmo elemento em quantidade conhecida. As curvas de calibração são obtidas de um gráfico onde, em absissas é colocada a relação “intensidade do elemento na amostra-problema/intensidade do elemento na amostra padrão”, e em ordenada a quantidade conhecida do elemento na amostra padrão.

A precisão do método depende da precisão das concentrações na amostra de referência, desde que se tenha escolhido o padrão correcto.

Procedimento experimental da preparação das pastilhas fundidas

Secar a amostra em estufa a cerca de 110°C, previamente moída em almofariz de porcelana ou moinho de ágata, submetendo-a seguidamente a secagem.

Pesam-se 0,5gr de amostra num cadinho de platina previamente tarado, no qual se lhe adiciona 4,5 gr de fundente – Spectomelt A12 (tetraborato de lítio + metaborato de lítio – 66:34) cuja finalidade consiste em baixar o ponto de fusão da amostra e reduzir os efeitos inter-elementos e a destruição dos minerais por fusão, eliminando os efeitos imprevisíveis, de difícil controlo da mineralogia e do tamanho da partícula.

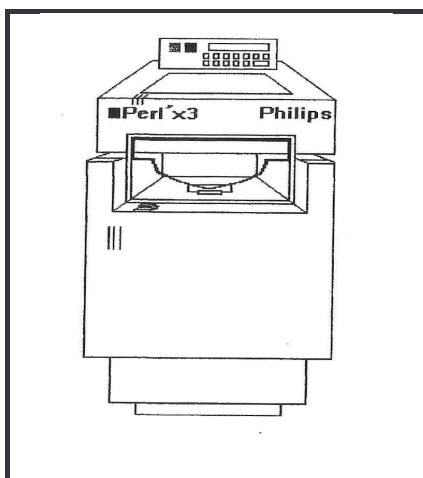


Fig. 135 - Forno automático Perl'X3 (Phillips)

Misturar muito bem o fundente e a amostra com uma espátula, e colocar o cadinho de platina que contem esta mistura num forno automático, tendo sido utilizado o forno automático Perl'X3 (Phillips) (fig. 135), para fusão de discos fundidos, introduzindo-se o programa pretendido (neste caso foi usado o programa 2).

Após a pastilha ter sido fundida tira-se do forno e etiqueta-se devidamente na face que esteve em contacto com a cunha, evitando o contacto directo das mãos com a pastilha.

9.2.2.1 F.R.X. (propriamente dita)

É importante ter em atenção as condições de excitação na amostra, que devem ser 45 KV, 30 mA para os pegmatitos e aplitos e 50 KV, 30 mA para as arcoses e utilizar uma ampola de Cr para o Mg, Al, Si, Ca, Ti, usando o cristal analisador TLAP.

Os elementos pesados, tais como o Fe e Mn, são detectados com o contador de cintilações e com o cristal LiF200.

Assim, introduz-se o porta-amostra que contém a amostra, evitando que a face a ser analisada não seja a que contém a identificação da amostra, na câmara das amostras (que é aberta com o próprio manipulador), e com o manipulador de troca (sample changer) roda-se para a posição 1. Introduz-se outro porta-amostras nas mesmas condições e roda-se o manipulador de troca para a posição 2. É de salientar que a câmara de amostras só leva duas amostras de cada vez (fig. 136).

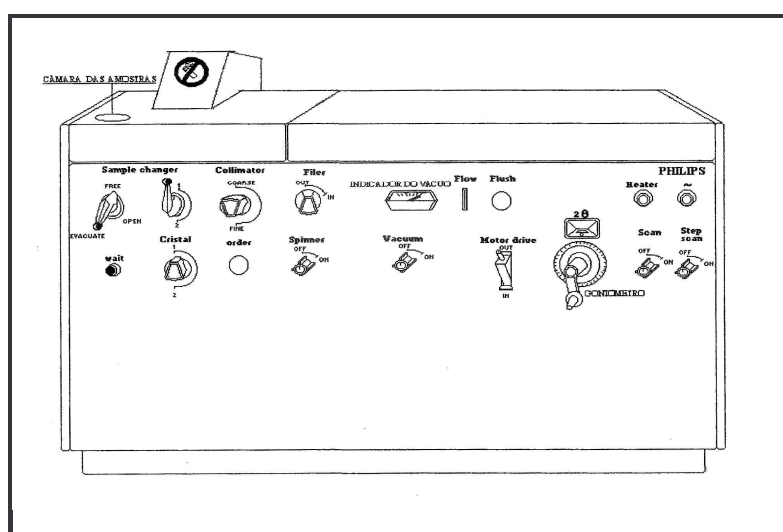


Fig. 136 - Câmara de amostras

No goniómetro selecciona-se o ângulo 2θ característico de cada elemento químico, e no discriminador (fig. 137) escolhem-se as condições de leitura para cada elemento químico. Portanto, para que se leia apenas o pico correspondente ao elemento a analisar, deve-se eliminar a radiação de fundo, devendo-se determinar a janela por onde passa a radiação.

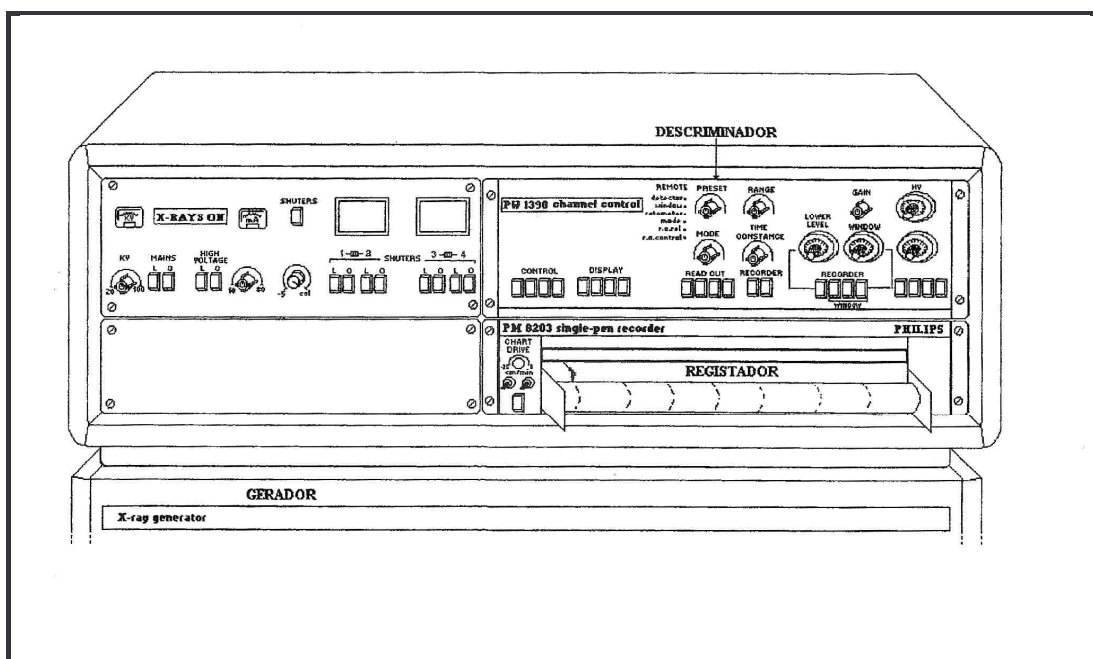


Fig. 137 - Discriminador

Para cada elemento químico, deve fazer-se quatro medições, achando-se a média entre elas. As leituras no Mg devem ser feitas em intervalos de 100 segundos enquanto que, para os outros elementos químicos, devem fazer-se em intervalos de 10 segundos, para que se verifique uma maior precisão e utilizar, no mínimo, quatro padrões, em condições de trabalho semelhantes às da amostra.

É aconselhável de 6 em 6 amostras introduzir um padrão para ajustar qualquer desvio que possa ocorrer, variações de vácuo e/ou temperatura do ambiente originam alteração das medições. Em seguida, lêem-se os padrões e as amostras e, na recta de calibração introduz-se a amostra-problema.

9.2.3 Análise química de uma Matéria-prima

A interpretação da análise química de uma matéria primas que contém vários minerais é feita com base na análise química e na composição do mineral calculada.

Portanto, sabendo que se tem:

Com base na análise química

$$A = \% \text{H}_2\text{O}$$

$$B = \% \text{SiO}_2$$

$$C = \% \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$D = \% \text{CaO}$$

$$E = \% \text{Na}_2\text{O}$$

$$F = \% \text{K}_2\text{O}$$

Com base na composição mineral calculada

$$U = \% \text{albite, Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$$

$$V = \% \text{microclina, K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$$

$$W = \% \text{anortite, CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$$

$$X = \% \text{moscovite, K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$Y = \% \text{quartzo, 2SiO}_2$$

$$Z = \% \text{caulinite, Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

Então:

$$U = 8,458E$$

$$V = 15,442A - 5,459C + 9,923D + 8,977E + 11,815F$$

$$W = 4,960D$$

$$X = 7,813C - 22,097A - 14,201D - 12,847E - 8,455F$$

$$Y = B + 1,178C - 6,666A - 4,284D - 7,751E - 5,101F$$

$$Z = \% = 2,740F + 14,323A - 2,532C + 4,602D + 4,163E$$

Se ocorrer um pequeno erro no conteúdo da água, este conduzirá a um erro grande no conteúdo em moscovite (X) que, por sua vez, poderá dar um resultado negativo. Neste caso, determinar-se-á o valor de X, e se este for negativo, deve considerar-se como nulo. Assim, devem ser efectuados os seguintes cálculos:

$$U = 8,458E$$

$$V = (F - 0,118X) / 0,169$$

$$W = 4,960D$$

$$Z = (C0,195U - 0,183V - 0,365W - 0,385X) / 0,395$$

$$Y = B - 0,687U - 0,648V - 0,430W - 0,452X - 0,465$$

9.3 Análise mineralógica

9.3.1 Determinação da composição mineral através da difracção de raios x (DRX)

As espécies minerais possuem redes e estruturas cristalinas características que, quando expostas a um feixe de raios X, este permite a identificação das diferentes espécies minerais, pela análise dos modelos de difracção obtidos.

Este processo é rápido, fácil e não destrutivo, permitindo a utilização da mesma amostra nos restantes ensaios.

O feixe de raios X utilizado na DRX para o estudo de minerais é monocromático. O método analítico utilizado é o das poeiras cristalinas, o qual apresenta o modo seguinte de registo gráfico (fig.138).

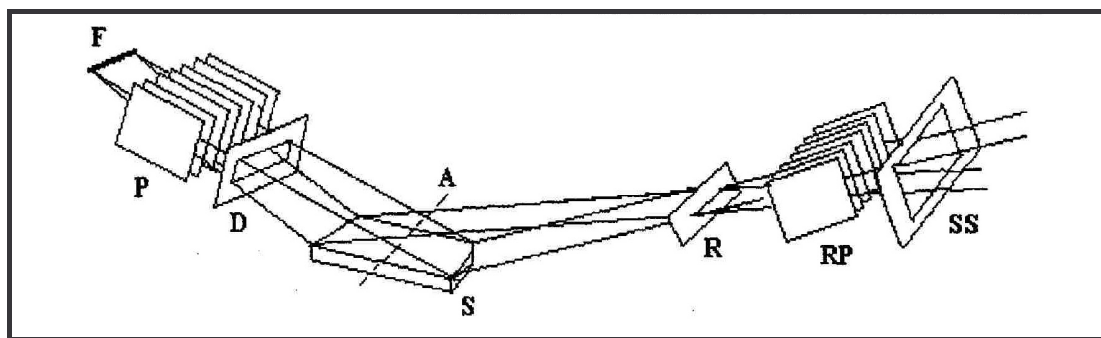


Fig. 138 - Esquema de um difractómetro de fonte linear; Fonte linear (F); P e RP – colimadores do tipo Soller; D – fenda (colimadora) de divergência; A – eixo de rotação do espécime; S – porta-amostra + espécime; R – fenda receptora; SS – fenda colimadora (Gomes, 1979)

A figura 139 representa o esquema de funcionamento do aparelho de difracção de raios X. Para a obtenção dos difractogramas pode utilizar-se um conjunto Philips formado por um gerador PW 1130/90, goniómetro PW 1050/70, “diffractometer control” PW 1710 e um registador PM 8203A.

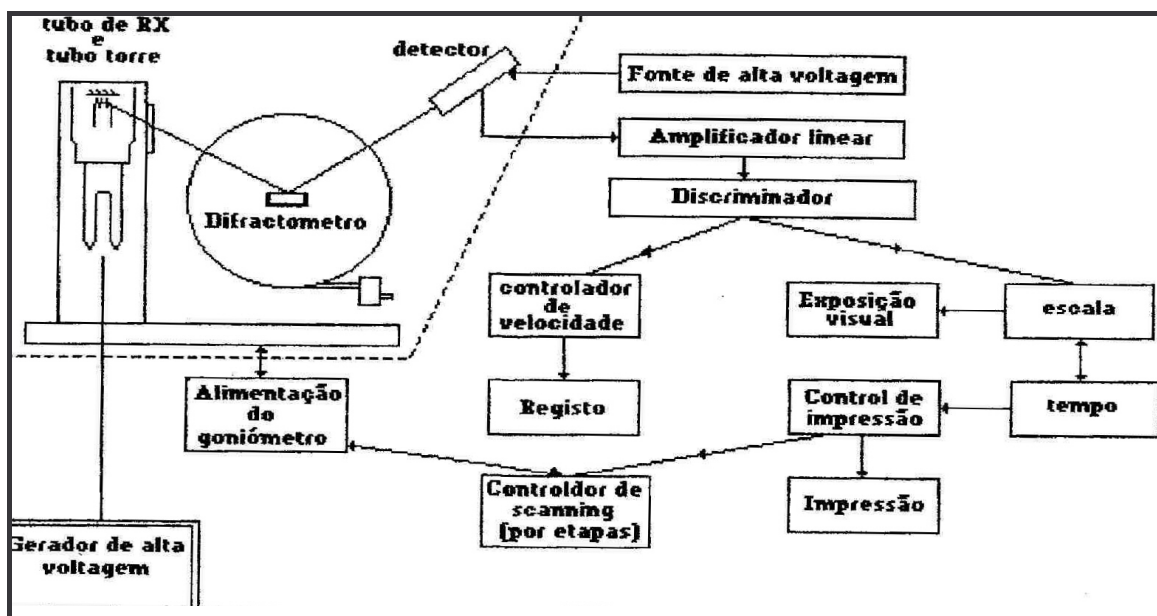


Fig. 139 - Representação esquemática do funcionamento do aparelho de difracção de raios X. (Phillips, 1981)

Procedimento experimental

Da fracção $>63 \mu\text{m}$ de cada amostra, separam-se os diferentes tipos de feldspatos que podem observar-se à vista desarmada, com o objectivo de se efectuarem análises por DRX, obtendo-se difractogramas que serão devidamente interpretados.

De cada amostra deve analisar-se:

- A Amostra Total
- Feldspato Branco
- Feldspato Rosa

Mói-se muito bem a amostra (ao tacto deve parecer pó de talco) com a ajuda de um moinho de anel de ágata ou o almofariz, como foi referido na 3ª etapa;

Com a ajuda de uma espátula selecciona-se uma espécie representativa que é montada cuidadosamente num porta amostra *standard* de alumínio evitando-se dar ao pó cristalino demasiada compressão. Deve-se, também, evitar a orientação preferencial provocada pelos cristais que tenham hábitos que facilitem essa orientação, o que poderia vir a traduzir-se no realce de intensidade de certos máximos de difracção e na redução da intensidade de outros, para que as quantificações sejam o mais exactas possível.

Fecha-se o porta amostras num compartimento próprio do difractómetro e introduz-se o programa escolhido no qual as amostras são varridas no intervalo angular $2^\circ - 62^\circ (2\theta)$

com velocidade de rotação do goniómetro de $V_g = 1^\circ/\text{min}$ e de deslocamento do papel de registo de $V_p = 1\text{ cm}/\text{min}$. O anti-cátodo utilizado foi o de Cobre (Cu). No início teve-se em conta as condições de excitação: -25 mA e 4 mkV .

Os difractogramas obtidos apresentam uma série de picos, situados ao longo de uma escala em graus, para ângulos de 2θ , e são interpretados com base nos ficheiros do JCPDS que contêm mais de 2000 modelos de difractogramas de espécies minerais padrão. Estes modelos contêm os valores de d_{hkl} correspondentes às diversas reflexões, dispostos por ordem decrescente bem como as respectivas intensidades, para além de outros dados informativos (Gomes, 1990).

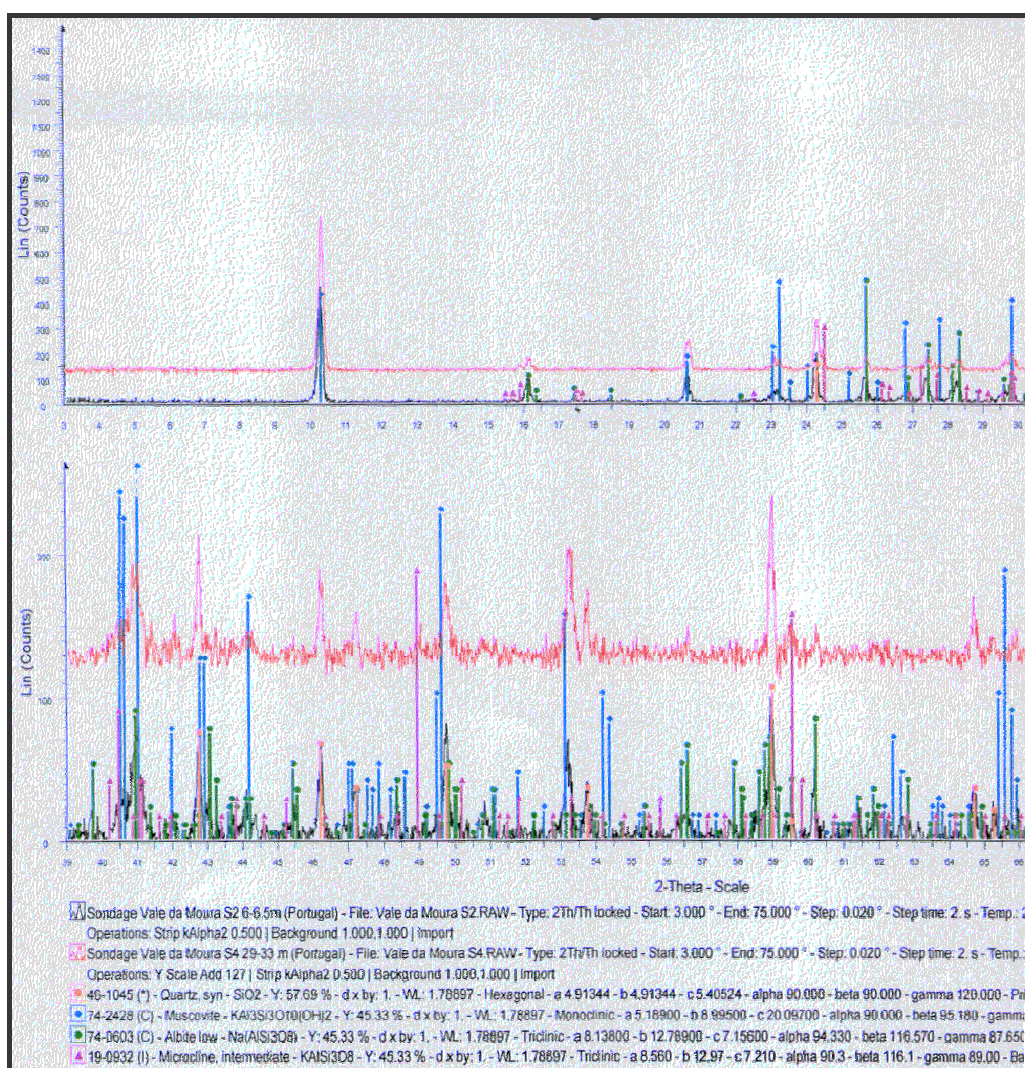


Fig. 140 - Exemplo de difractograma obtido de duas amostras do Distrito da Guarda.

A figura 140 representa dois difractogramas obtidos sobre duas amostras de feldspato do Distrito da Guarda.

A análise mineralógica qualitativa é feita de modo a fornecer dados sobre a estrutura interna dos minerais presentes na amostra analisada. Para isso basta analisar os difractogramas com a finalidade de identificar os minerais componentes da amostra.

Relativamente à análise quantitativa dos difractogramas existe, teoricamente, uma relação directa entre a intensidade das difracções características dum mineral e a sua proporção ponderal, quando ele é componente de uma mistura (Gomes, 1986).

9.4 Análise petrográfica

Os quartzos que ocorrem em pegmatitos e veios contêm inclusões fluidas que, quando submetidas a altas temperaturas, podem provocar um acréscimo de finos que inviabiliza a respectiva utilização para fins metalúrgicos por provocarem decrepitação e, consequentemente, uma diminuição da porosidade de carga, bloqueando deste modo o fluxo de gases e conduzindo a uma fusão e formação de crustas precoces.

Entendeu-se ser conveniente realizar esta análise em alguns dos quartzos estudados, designadamente dos depósitos de Mata Galinheira, Dornas, Ladeira, Boticas, Sr^a. da Assunção, Freches, Poço Palheiro, Vila Longa, Seixos Alvos e Pedras Pintas, cujas lâminas se apresentam nas figuras 141 a 150.

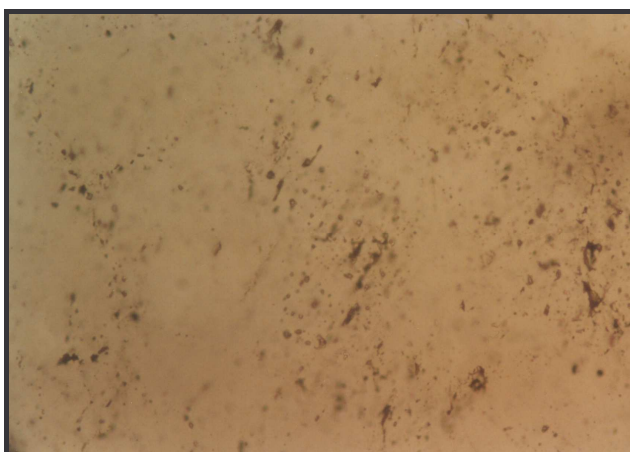


Fig. 141 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo da Mata da Galinheira

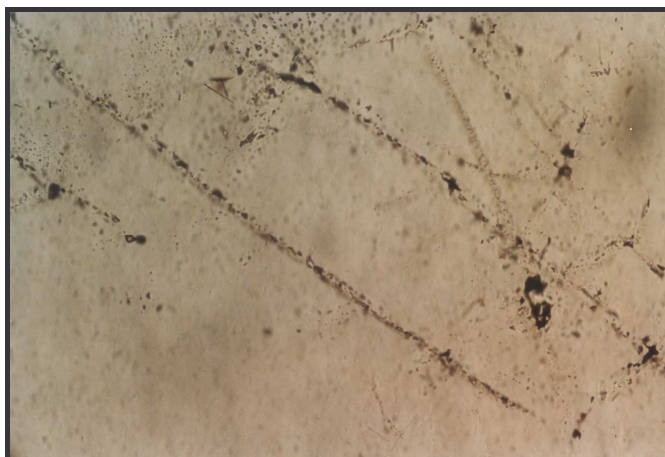


Fig. 142 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Dornas

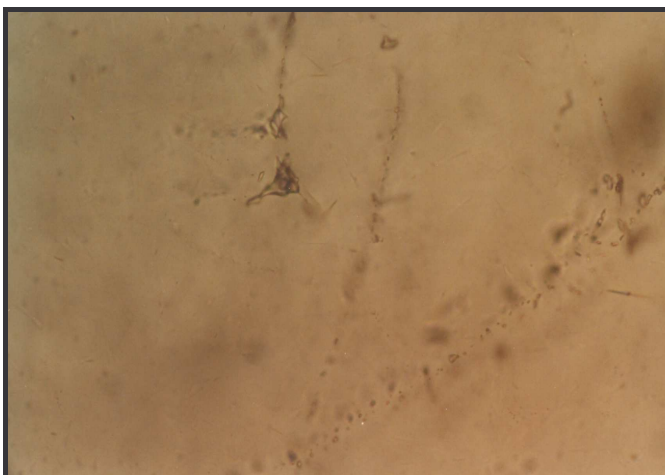


Fig. 143 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Ladeira

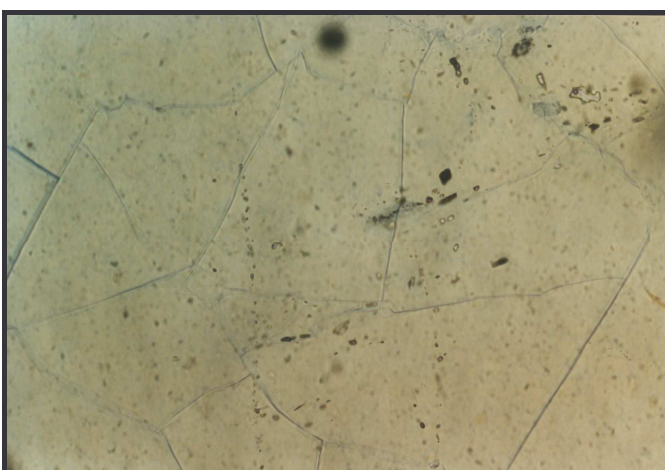


Fig. 144 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Boticas



Fig. 145 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Sr.ª da Assunção



Fig. 146 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Freches

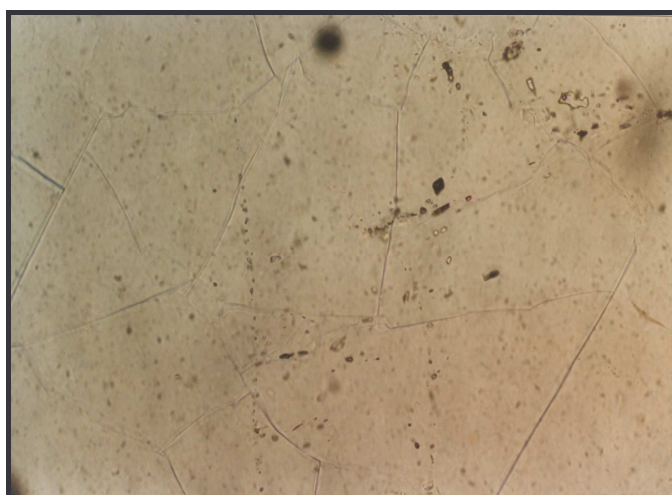


Fig. 147 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro

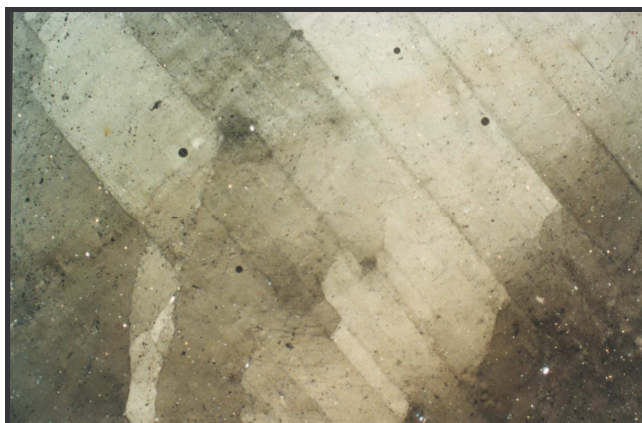


Fig. 148 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa

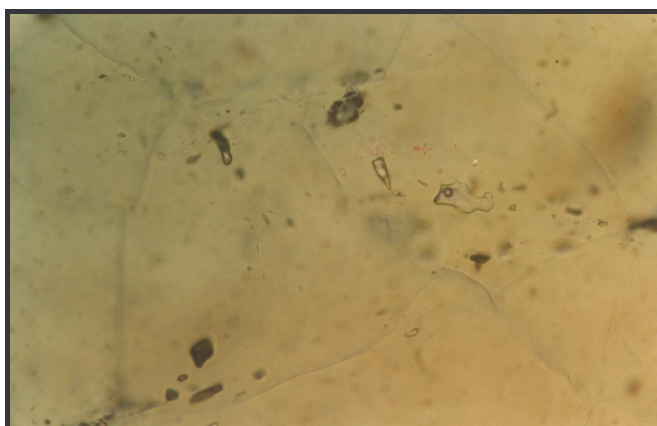


Fig. 149 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Seixos Alvos

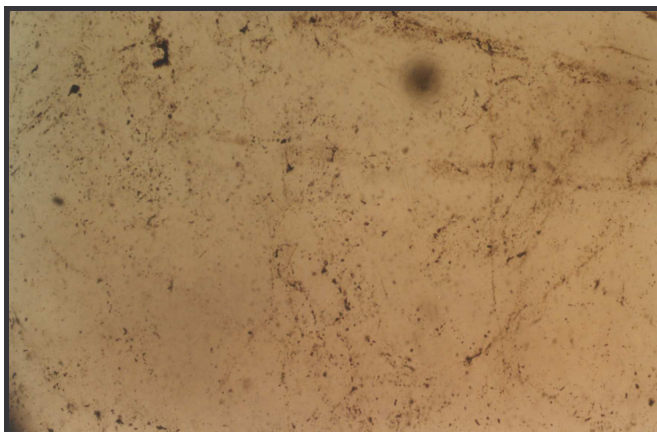


Fig. 150 – Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas

A análise petrográfica evidenciou algumas diferenças entre as amostras de quartzo, pois diferem de local para local, sem que sejam eliminatórias em termos do potencial dos

quartzos estudados, embora se considerem mais adequadas as amostras que revelam maior uniformidade petrográfica.

O campo de observação de algumas lâminas mostra-se bastante homogêneo, estando o quartzo isento de extinção ondulante e possuindo grão de grandes dimensões, apresentando-se muito pouco fracturado e sem que se vislumbrem impurezas.

Algumas das lâminas de quartzo não apresentam deformação e exibem grãos de mica de grandes dimensões (Poço Palheiro e Seixos Alvos), com muitas inclusões fluidas, enquanto que outras apresentam um *fabric* tectónico com formação de neogrãos de acentuado estiramento formando um conjunto francamente orientado e com identificação de bordos de subgrão paralelos à direcção do eixo $\langle c \rangle$ (Sr.^a da Assunção).

As lâminas do quartzo de Pedras Pintas apresentam sub-grãos e planos de inclusões fluidas e as amostras de Dornas (com agulhas de rútilo), Ladeira e Freches apresentam para além das inclusões fluidas uma acentuada extinção ondulante.

9.4 Índice de Estabilidade Térmica (aplicável ao quartzo)

Ao quartzo utilizado na metalurgia exige-se elevada dureza, ausência de finos e elevada resistência ao choque térmico, ou seja não deve decrepitar ou fraccionar-se em finos quando aquecido porque estes reduzem a porosidade da carga eléctrica e provocam o bloqueio do fluxo de gases, assim como a fusão prematura e a formação de crosta originando uma estruturação do gás e a formação de um sopro que desliga o forno.

Recentemente, as maiores empresas electrometalúrgicas sedeadas na Europa adoptaram um ensaio para a determinação do Índice de Estabilidade Térmica que, segundo as referidas empresas, reflecte de modo satisfatório a resistência dos quartzos ao choque térmico.

Este ensaio adopta uma metodologia diferente do ensaio anteriormente utilizado (Resistência ao Choque Térmico) que consiste em reduzir a amostra, por fragmentação, até calibres inferiores a cerca de 25 mm.

Da amostra obtida retiram-se 500 g de material que é aquecido até atingir 1200°C, devendo em seguida ser submetido à temperatura de 1300°C à razão de 30°C/min, na qual permanecerá durante um período de duas horas.

Depois de arrefecido o material da amostra é crivado numa série de peneiros com aberturas de 20 mm, 10 mm, 4mm e 2mm, respectivamente. Em seguida, pesa-se o material retido em cada peneiro e constrói-se a respectiva curva granulométrica.

Por último, calcula-se o Índice de Estabilidade Química (IEQ) do seguinte modo:

$$IEQ = \frac{\% > 20mm + \% > 10mm + \% > 4mm + \% > 2mm}{4}$$

A classificação do produto relativamente à respectiva estabilidade química faz-se de acordo com os valores indicados no quadro 49.

Quadro 49- Classificação da estabilidade química função dos valores de IEQ

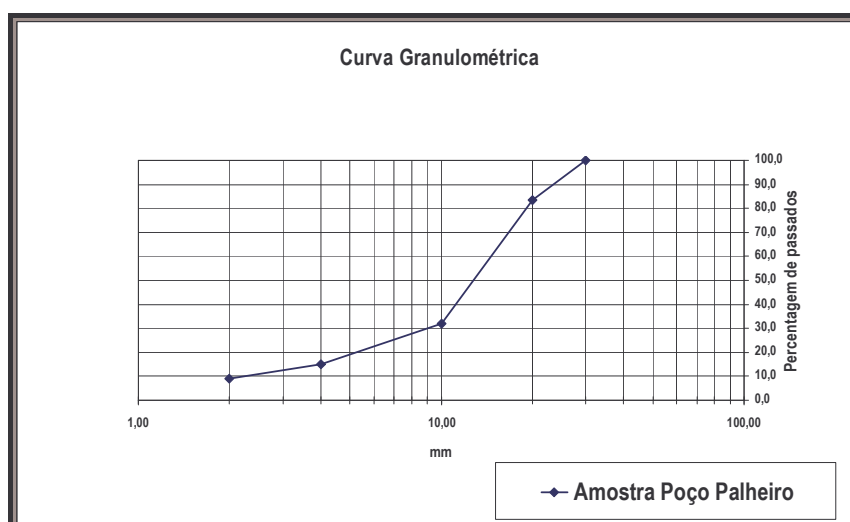
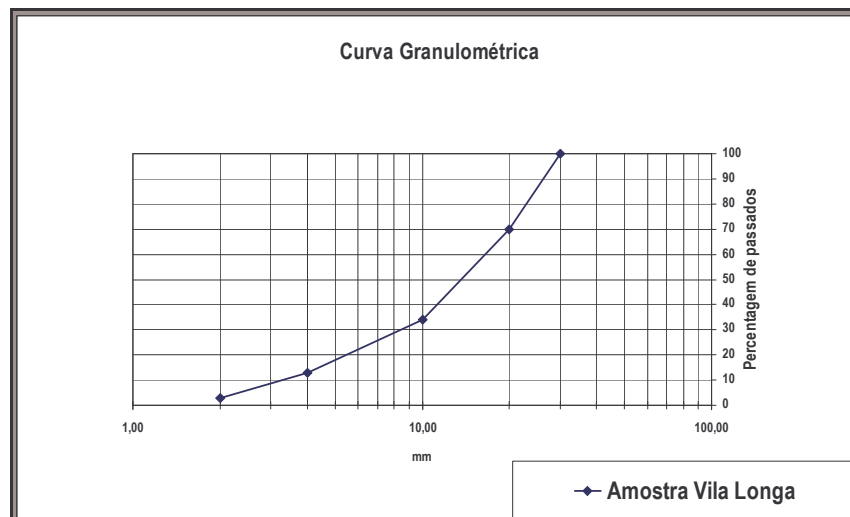
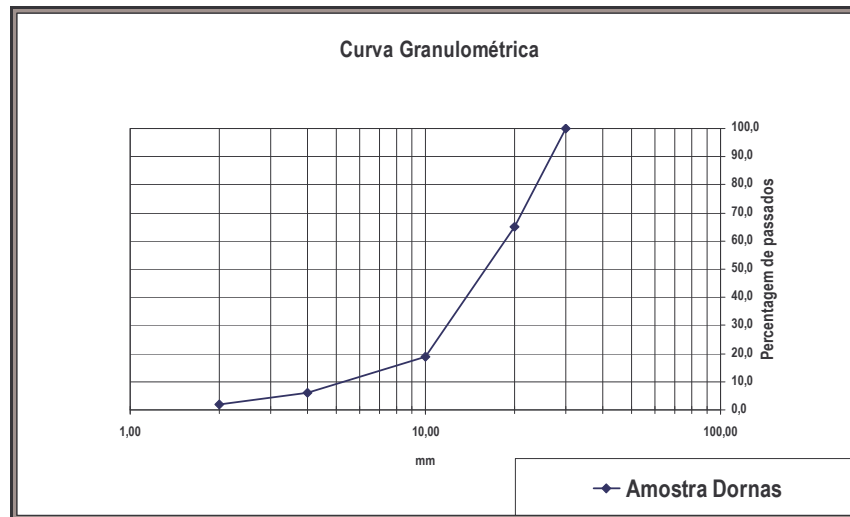
	Má	Média	Boa
IEQ	< 70	70-79	≥ 80

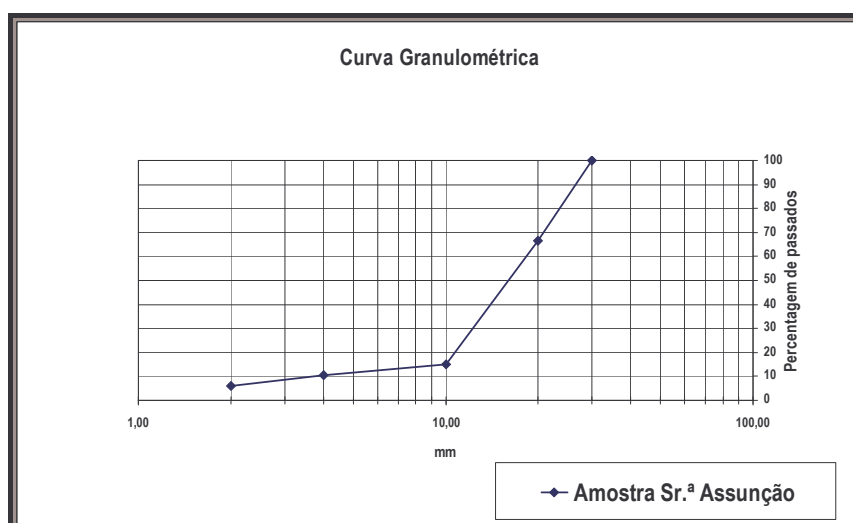
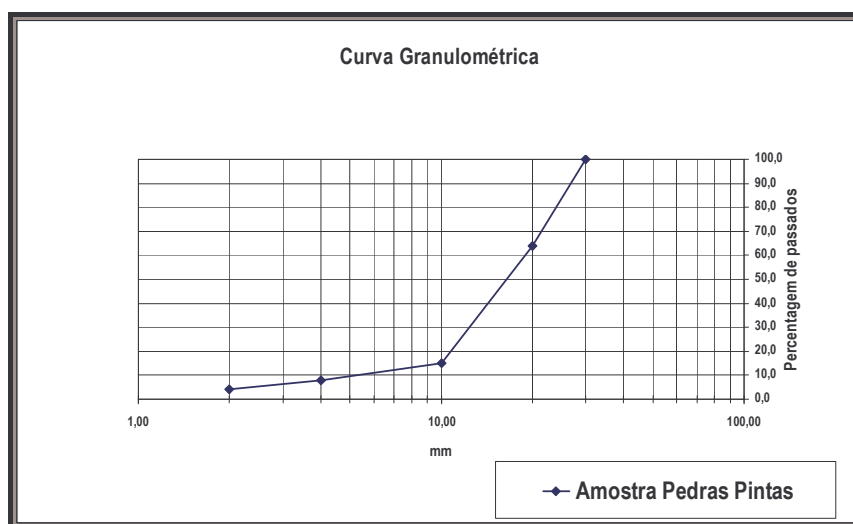
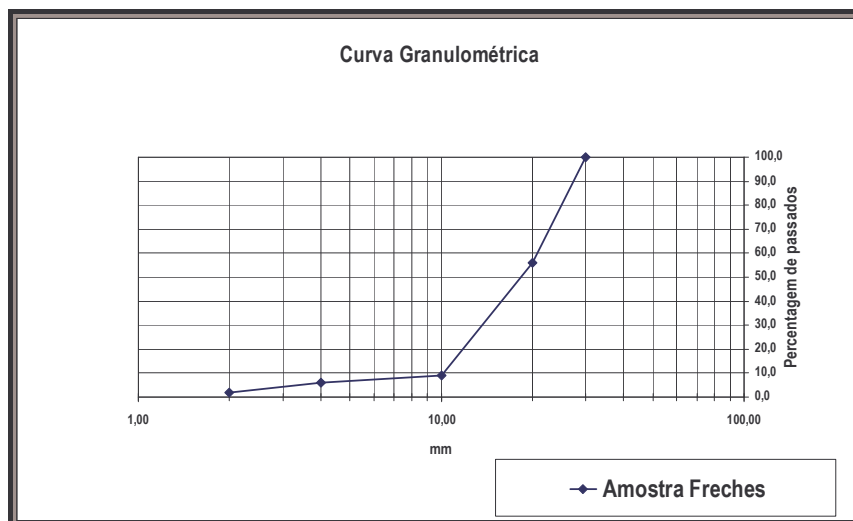
O quadro 50 apresenta as percentagens de material passado na série de peneiros utilizada neste ensaio e os valores do IEQ para cada amostra analisada.

Quadro 50- Percentagens de material passado e os valores do IEQ

(%) Passados						
Peneiros (mm)	Amostra Dornas	Amostra Vila Longa	Amostra Poço Palheiro	Amostra Freches	Amostra Pedras Pintas	Amostra Sr. ^a Assunção
30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
20	65,30	70,28	83,51	56,26	64,47	66,49
10	19,32	34,54	32,20	9,39	15,87	14,91
4	6,10	13,76	15,34	6,74	8,56	10,74
2	2,75	3,45	9,72	2,26	4,34	6,13
IEQ	77	70	65	82	77	75

Em seguida apresentam-se as curvas granulométricas obtidas no ensaio para determinação do IEQ, realizados sobre as amostras indicadas no quadro 50.





Tal como se pode observar no quadro 50, o quartzo com menor aptidão para a produção de Si metal e FeSi é o do depósito de Poço Palheiro e todos os restantes são de média qualidade, com excepção do quartzo do depósito de Freches que apresenta boa qualidade.

9.5 Ensaaios para rocha ornamental

Antes de iniciar os ensaios os provetes devem ser devidamente limpos para a remoção de pó ou areias, podendo-se usar água na sua limpeza. Depois de limpos devem ser secos numa estufa ventilada pelo menos 24 horas e deixados a arrefecer durante uma hora até à temperatura ambiente, antes de serem utilizados em qualquer ensaio.

9.5.1. Determinação à Rotura por Impacto

O equipamento utilizado para determinar a resistência à rotura por impacto está representado na figura 151.

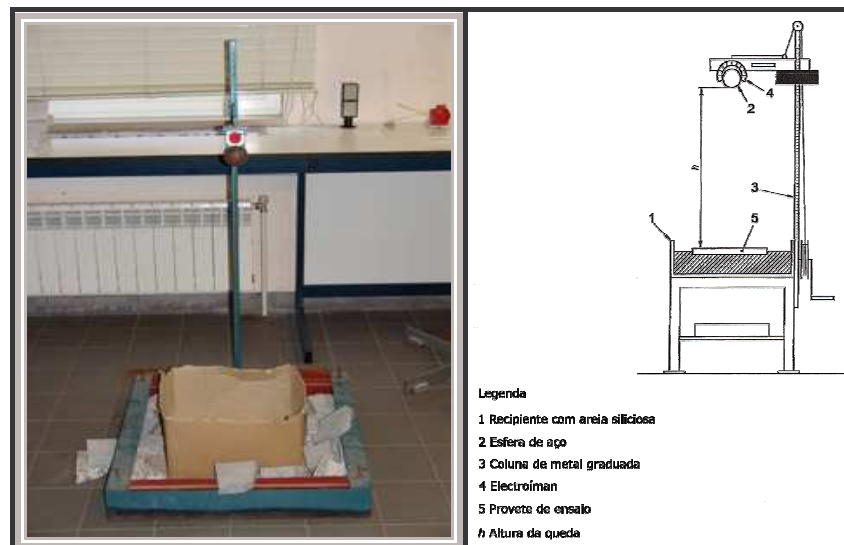


Fig. 151 - Equipamento de ensaio da resistência ao choque

O ensaio de resistência à rotura por impacto consiste em:

- Submeter os 4 provetes de 20 cm x 20 cm x 3 cm ao choque de uma esfera de aço de massa $(1,00 \pm 0,01)$ kg.
- A esfera é largada perpendicularmente ao centro do provete de uma altura inicial de 10 cm até a altura final (ruptura do provete) com incrementos de 5 cm.
- Atingida a ruptura do provete o valor deve ser registado no boletim.

- O valor registrado mais alto é o valor de resistência ao choque para a rocha em causa.

9.5.2 Determinação da Resistência Mecânica à Flexão – DIN 52112

O equipamento para a realização do ensaio de determinação da resistência à flexão está representado na figura 152.

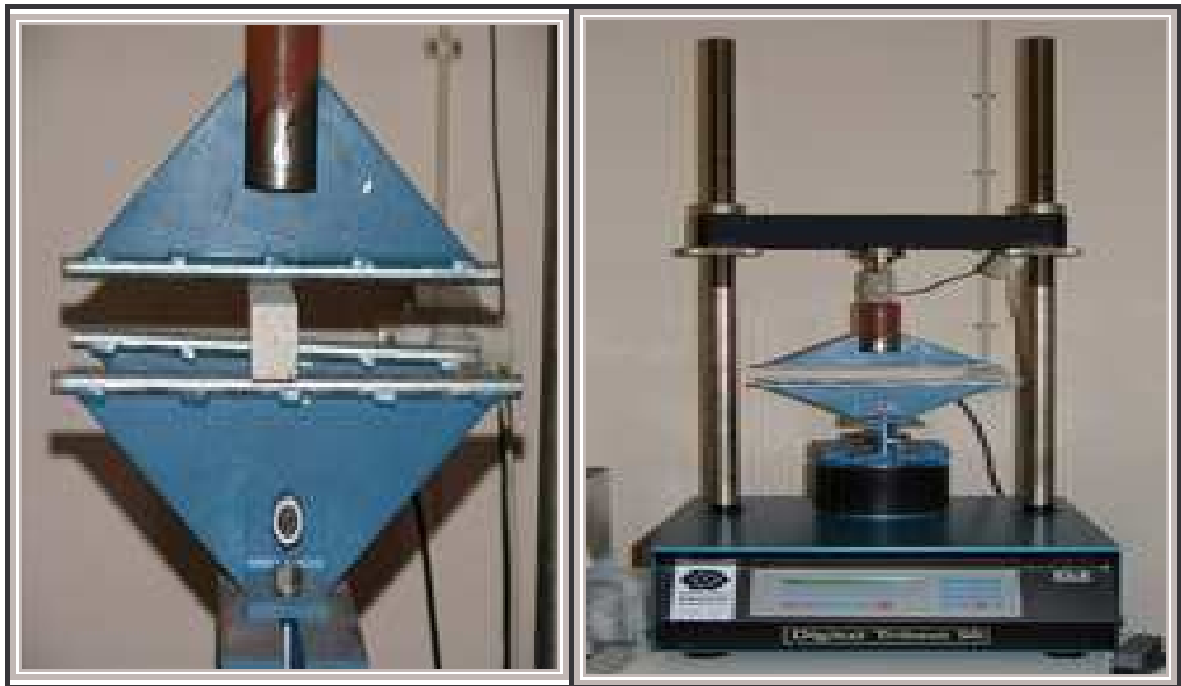


Fig. 152 - Equipamento de ensaio da resistência à flexão

O ensaio de resistência mecânica à flexão consiste em:

- Submeter os 6 provetes de 20 cm x 3 cm x 3 cm à pressão de um pistão hidráulico, do equipamento de ensaio da resistência mecânica à flexão.
- Este equipamento consiste num pistão hidráulico no qual estão fixos dois rolos de suporte, afastados 15 cm um do outro; existe ainda um outro rolo de carga que se situa ao centro dos outros dois, mas fixo à célula de carga.
- O provete é colocado ao centro dos rolos de modo a que o rolo de carga fique ao centro do provete.
- De seguida sobe-se o pistão para ajustar o provete ao rolo de carga iniciando-se de seguida o ensaio com uma subida constante do pistão, que resulta no aumento da

pressão no centro do provete até este entrar em rotura e deixar de oferecer resistência.

- O valor então obtido deve ser registado no boletim de ensaio. O valor final da resistência mecânica à flexão é determinado pela média dos valores obtidos.

Fórmula de cálculo:

Carga de rotura (P) (Kg)

Vão entre apoios (Ls) (cm)

Altura (h) (cm)

Largura (b) (cm)

Resistência à Flexão (ρ_b) (Kg/cm²)

$$\rho_b = \frac{3 \times P \times L_s}{2 \times b \times h^2}$$

A figura 153 ilustra as diferentes modalidades de determinação da resistência mecânica a flexão.

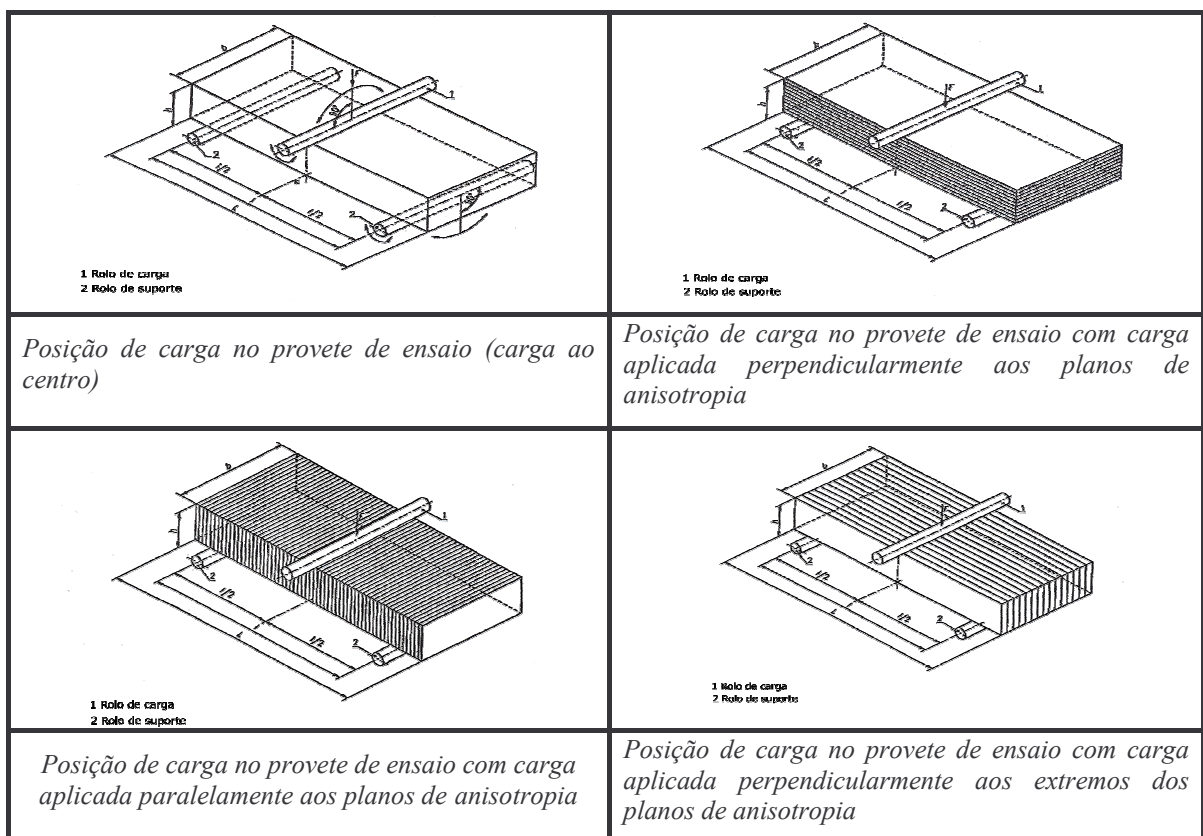
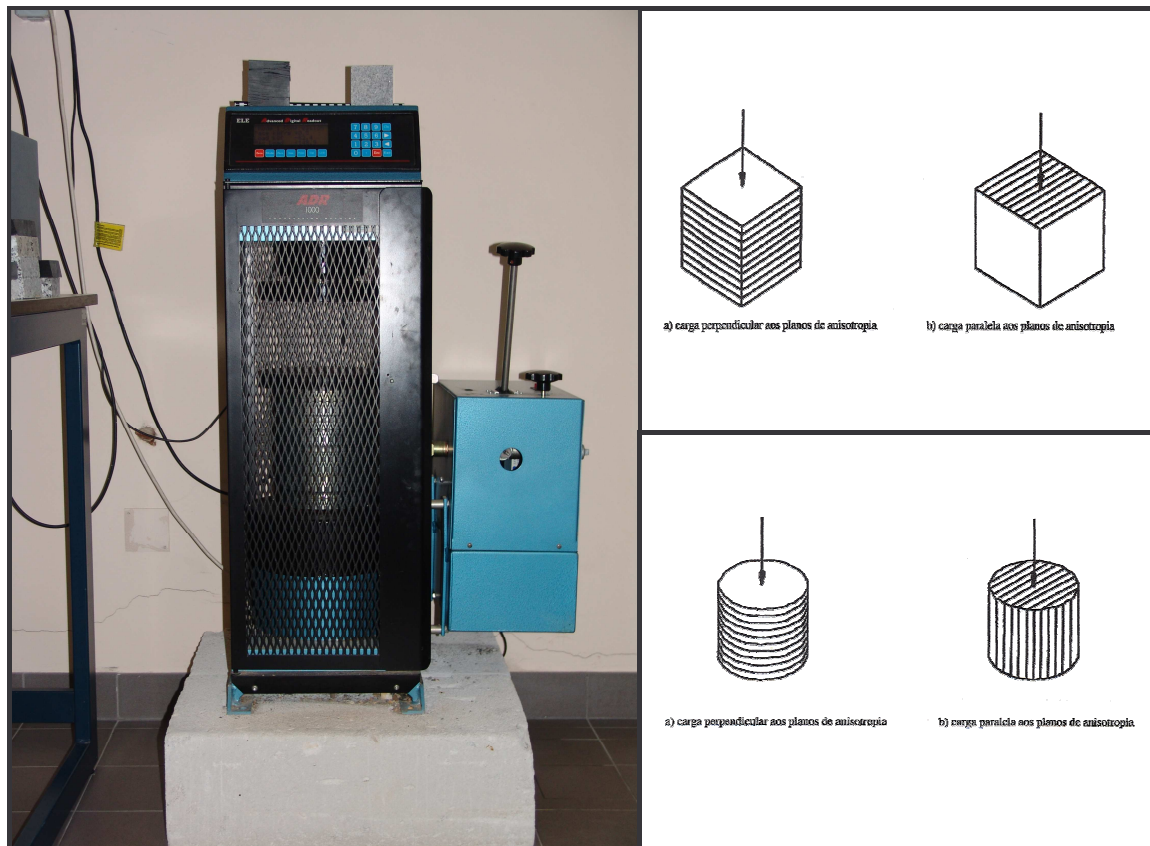


Fig. 153 - Determinação da resistência mecânica à flexão

9.5.3 Determinação da Resistência Mecânica à compressão Simples – DIN 52105

O equipamento para determinar a resistência mecânica à compressão simples está representado na figura 154.



O ensaio de resistência mecânica à compressão simples consiste em:

- Submeter os 6 provetes de 7 cm x 7 cm x 7 cm a uma tensão de compressão.
- O equipamento consiste num pistão hidráulico e um célula de carga. O provete é colocado entre o pistão e a célula de carga; este vai subindo a uma velocidade constante, aumentando assim a pressão exercida sobre a amostra até esta entrar em rotura. O valor então obtido deve ser registado no boletim de ensaio. O valor final da resistência mecânica à compressão simples é determinado pela média dos valores obtidos.

Fórmula de cálculo:

Área de secção recta (Δ) (cm^2)

$$\rho_c = \frac{F}{\Delta}$$

Força de Rotura (F) (Kg)

Resistência à Compressão Simples (ρ_c) (Kg/cm^2)

9.5.4 Determinação da Resistência por Abrasão – DIN 52108

O ensaio da resistência à abrasão consiste em:

- Submeter os 6 provetes de 6 cm x 6 cm x 3 cm ao desgaste provocado por um disco sujeito a uma carga.
- Antes da utilização dos provetes é importante determinar a espessura de cada provete.
- O ensaio consiste na colocação de dois provetes sobre um disco sujeitos a uma carga. No disco serão colocadas granalha e água a conta gotas para tornar o disco abrasivo. Este irá realizar cem ciclos antes de parar (fig.155).
- A resistência à abrasão é dada pela diferença média da espessura antes do ensaio menos a espessura depois do ensaio dos provetes.



Fig. 155 - Equipamento de ensaio da resistência à abrasão

9.5.5 Determinação da Absorção de água à Pressão Atmosférica – DIN 52103

O ensaio de absorção de água à pressão atmosférica consiste em:

- Determinar o peso seco constante de cada provete.
- Encher com água um copo graduada de modo a permitir que o provete fique submerso, registrando o volume de água (fig. 156).
- Mergulhar o provete no interior da tina com água e registrar o novo volume (volume deslocado).
- Após 24 horas registrar o novo valor do volume e pesar o provete.
- Da diferença entre o peso seco e o peso húmido determina-se o valor da absorção de água à pressão atmosférica.

Fórmulas de cálculo:

Peso seco (m_{tr}) (g)

Peso da amostra mergulhada em água (m_w) (g)

Absorção de água (W_a) (g)

Aumento de peso com Absorção de água ($W_{g,a}$) (%)

Aumento de volume com Absorção de água ($W_{v,a}$) (%)

Densidade do liquido (ρ_f) (água = 1 g/cm³)

Massa Volúmica (ρ_r) (g/cm³)

$$W_a = m_w - m_{tr}(g)$$

$$W_{g,a} = \frac{W_a}{m_{tr}} \times 100\%$$

$$W_{v,a} = \frac{W_a}{m_{tr}} \times \frac{\rho_r}{\rho_f} 100\%$$



Fig. 156 - Material usado no ensaio de absorção de água à pressão atmosférica

***AVALIAÇÃO ECONÓMICA DOS PEGMATITOS:
PROPOSTA DE METODOLOGIA***

10. AVALIAÇÃO ECONÓMICA DOS PEGMATITOS

10.1 Considerações gerais

Sob o ponto de vista económico, os depósitos pegmatitos assumem particular importância por serem fonte de quartzo, feldspatos potássicos e sódicos, berilo, mica, minerais de lítio, nomeadamente espodumena, petalite, ambiglonite e lepidolite, tantalite/columbite, caulino, minerais de terras raras, rubídio, célio, estanho e gemas, entre outros.

Assim, torna-se indispensável a perspectiva de aproveitamento integral destes depósitos, como tem vindo a ser defendido ao longo deste trabalho, pela grande variedade de tipos de minerais neles presentes e de elevado valor económico.

Contudo, os minerais presentes apresentam características muito próprias e, por tal motivo, implicam operações de beneficiação específicas, que acabam por representar algumas dificuldades na respectiva exploração, especialmente no nosso país, em que o universo das empresas concessionárias deste tipo de depósitos são de pequena ou média dimensão, com uma pobre estrutura financeira que não lhes permite efectuar investimentos de certo modo mais elevados, e quase indispensáveis à extracção e tratamento necessários ao aproveitamento integral de todos os materiais.

A abordagem económica deste tipo de depósitos implica uma cuidadosa análise da geologia regional das Províncias e Distritos Pegmatíticos que permitam a identificação de afinidades entre eles e a definição de ambientes favoráveis à ocorrência de determinado tipo de mineral, com vista à possível correlação entre a paragénese desses minerais e a respectiva tecnologia de tratamento.

Seria de todo importante tentar estabelecer um critério de avaliação dos depósitos pegmatíticos que conduzisse a estereótipos bem definidos, a partir dos quais fosse possível criar uma rotina relativamente ao método de extracção, tratamento e quantificação de reservas que assentasse em aspectos como a evolução, distribuição e ocorrências, natureza e alteração das rochas encaixantes, dimensão, forma, estrutura interna, composição química, modo de formação, petrogénese e geoquímica, entre outros.

O aproveitamento deste tipo de depósitos, sob o ponto de vista económico, reveste-se de grandes dificuldades devido às pequenas dimensões com que ocorrem e, fundamentalmente, pelos custos de extracção que lhes está associado, dada a necessidade de um desmonte selectivo conducente a baixos ritmos de produção.

O esquema do quadro 51 ilustra a influência do factor económico na exploração, no tratamento e tecnologias empregues nos depósitos pegmatíticos, nos mercados e respectiva ligação com factores dos tipos social e financeiro.

Quadro 51- Avaliação económica dos pegmatitos em países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento

<i>Referencial</i>		<i>Países desenvolvidos</i>		<i>Países em vias de desenvolvimento</i>
Empresarial	→	Financeiro	→	Social
Dimensão	→	Depósitos de grande dimensão	→	Depósitos de pequena dimensão
Tecnologia	→	Mecanizada e automatizada	→	Manual
Prospecção	→	Métodos indirectos	→	Métodos directos
Exploração	→	Integral	→	Descontínua
Custos de produção	→	Baixo	→	Alto

10.2 Avaliação económica dos pegmatitos

A abordagem económica deve atender à especificidade dos pegmatitos, nomeadamente à evolução e respectiva classificação, e incluir os seguintes parâmetros:

10.2.1 Génese dos pegmatitos e respectiva classificação

Importa fazer a análise da geologia regional das Províncias e Distritos Pegmatíticos²⁷, pois servirá de base à classificação dos pegmatitos de acordo com o esquema representado na figura 157.

²⁷ As diferenças verificadas nos pegmatitos relativamente à granularidade, comprovadas pela ocorrência de cristais de dimensão milimétrica até massas monominerais de algumas toneladas, podem ser explicadas pela

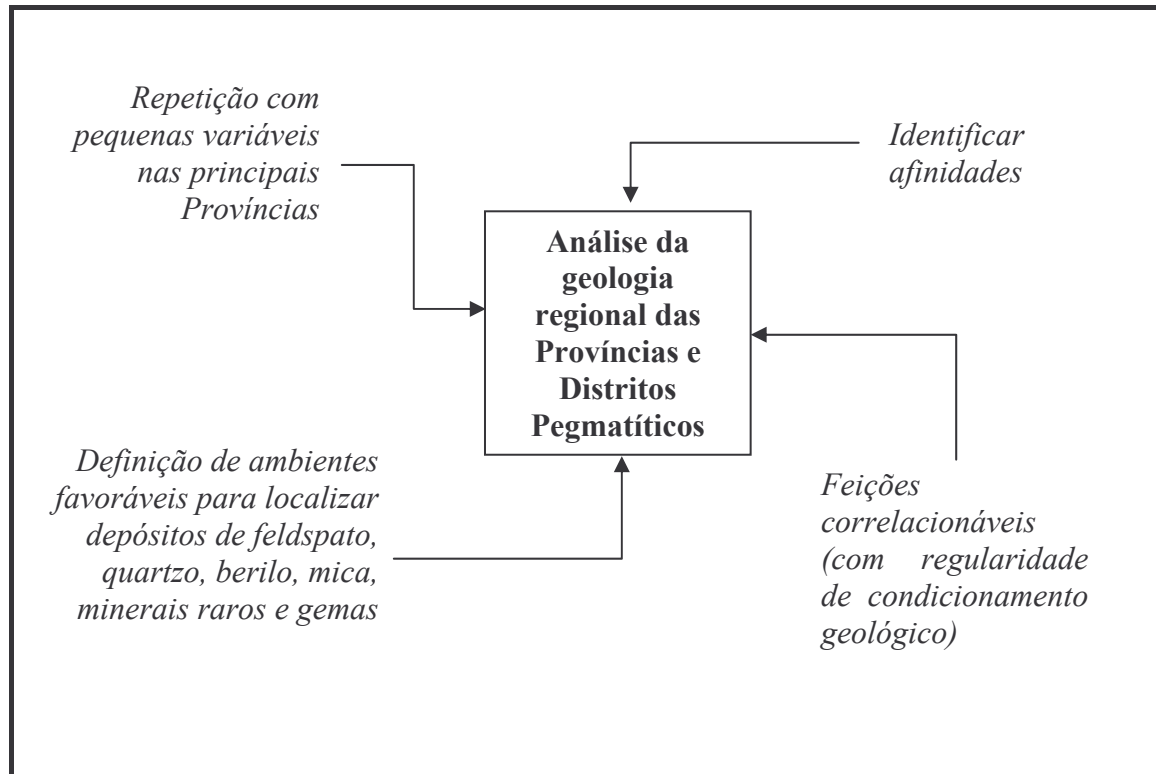


Fig. 157- A importância da Análise da Geologia Regional das Províncias e Distritos Pegmatíticos

Os cálculos de reservas a realizar sobre depósitos pegmatíticos devem aplicar os métodos de pesquisa e avaliação já aferidos noutras Províncias, já que as condições termodinâmicas e geoquímicas da respectiva formação são constantes, função da homogeneidade das diferentes províncias.

10.2.2 Distribuição e ocorrências

Da associação litológica e estrutural, de que resulta o conceito de Província, predominam as rochas granitóides, migmatitos, gnaisses, xistos micáceos, aplitos e pegmatitos, subordinadamente quartzitos e anfibolitos.

10.2.3 Relação com as rochas encaixantes

Aqui assumem especial importância a natureza e alteração dos encaixantes, desde as rochas foliadas (xistos micáceos, gnaisses e quartzitos) às rochas graníticas (granitos, granodioritos e tonalitos).

classificação em Província pegmatítica, Cinturão pegmatítico, Campo pegmatítico, Distrito pegmatítico e Grupo pegmatítico (Cameron, 1949).

As primeiras são mais complexas, concordantes ou preenchendo fracturas, e as segundas tabulares, de preenchimento de fracturas e mineralogicamente mais pobres.

10.2.4 Tamanho e forma

Relativamente ao tamanho e forma, que podem ser variados, são de referir espessuras que vão do centímetro às centenas de metros, comprimentos muito variados, profundidades que atingem largas dezenas de metros e forma predominantemente tabular, ou outras, lenticular, ramificada, irregular, forma de gota, cilíndrica e sinuosa.

10.2.5 Estruturas internas

São aspectos a considerar: o preenchimento de fracturas, unidades geralmente tabulares que preenchem fracturas em pegmatitos já consolidados; os corpos de substituição, como sendo unidades formadas por substituição de minerais já existentes, com ou sem controlo estrutural; os geodes, como resultado da percolação de soluções finais em fracturas ou planos de clivagem ou contactos de minerais pré-formados, com deposição dos mais variados minerais tardios; as zonas, envoltórios concêntricos e nem sempre completos que reflectem, em vários graus, a forma ou a estrutura do corpo, em rosário, lentes e bolsadas; a distinção de zonas, com base no contraste mineralógico ou estrutural (zonas de contacto, zona de parede e zonas intermediárias- externa, média e interna) e zona de núcleo, que ocupa a parte central do corpo e é normalmente formada por um só mineral, o quartzo.

10.2.6 Classificação

A classificação dos pegmatitos deve obedecer ao zonamento interno e à associação paragenética²⁸, e relativamente ao zonamento interno²⁹ podem considerar-se corpos não diferenciados e corpos diferenciados (não zonados e zonados- simétricos e assimétricos).

10.2.7 Composição química

Os pegmatitos graníticos apresentam uma composição química muito semelhante à das rochas graníticas associadas, Assim, podem ser:

²⁸ Podem ser consideradas as sequências paragenéticas em pegmatitos zonados (Cameron, 1949) ou a sequência revista de Norton (1983), com as sequências da parede ao centro e do topo para a base da assembleia.

²⁹ Segundo as classificações de Cameron (1949), Tabulo *et al.* (1995), Leal Gomes (2003).

- Calco-sódicos (plagioclases) – associado a rochas ricas em Ca, com alto teor em Ca, Fe, Mg, Ti e terras raras;
- Potássico (microclina) – o sódio e o cálcio das plagioclases são substituídos pelo potássio, com diminuição dos teores dos elementos anteriores, formando numa primeira fase a microclina, a que se segue uma nova fase que dá lugar à formação do quartzo e da moscovite, devidos ao vapor de água e ao pH;
- Lítico (espodumena) – resulta das concentrações de lítio a formação da espodumena com outros minerais de Li (ambligonite, trífilita-litiofilita);
- Sódico tardia (albite) – o quartzo e a moscovite já estão formados e dão lugar à fase sódica, com albitização dos minerais já formados (microclina e a espodumena);
- Potássicos tardios (moscovite/greisen) – esta nova fase tardia surge com greisenização ou de formação de micas ricas nos elementos libertados como K, Li, Rb e Cs.
- Potássico-Lítico (lepidolite) – rico em Li e com elevada concentração em voláteis, flúor e boro, com turmalinas coloridas (elbaitas), topázio e microclina-fase de baixo ferro e alta concentração de álcalis raros (Rb, Cs).

Outros estágios podem ocorrer (quando as soluções aquosas são percoladas através de fracturas, fissuras, planos de clivagem de minerais existentes e conduzem à cristalização do quartzo, calcite, albite, etc., em cavidades – geodes), dependendo do líquido residual.

10.2.8 Composição mineralógica

A composição mineralógica dos pegmatitos é composta de minerais essenciais (feldspato potássico e sódico, quartzo, espodumena e mica), e ainda minerais acessórios como os minerais de lítio, berílio, tântalo, cassiterite, granada, gemas, entre outros).

10.2.9 Modo de formação

A interpretação dos pegmatitos deverá recair nas zonas internas, no preenchimento de fracturas e nos corpos de substituição. Os estágios comumente aceites por vários autores consiste em:

- Estágio magmático ou epimagmático (inicial)

- Pneumatolítico, hidrotermal ou ambos (final)

Uma sequência aceite por vários autores consiste em injeção, segregação e recristalização.

10.2.10 Petrogénese e geoquímica

O processo pegmatítico caracteriza-se por uma concentração extremamente elevada de elementos raros e voláteis: B, Be, Li, F, Nb, Ta, Rb, Cs, Zr, Hf, Sc, Sn, Sr e U, entre outros, pelo que existe um forte contraste geoquímico entre os pegmatitos e as rochas encaixantes permitindo a prospecção indirecta desses depósitos.

Todos os parâmetros que até ao momento se referiram estão indicados na figura 142, onde se representa de modo esquemático uma metodologia proposta para avaliação dos corpos pegmatíticos com base na respectiva evolução e classificação.

10.3 Geologia e pesquisa de pegmatitos

Como principais critérios para a prospecção de pegmatitos podem apontar-se a geologia regional, a geologia local, a mineralogia e estruturas, a geoquímica e a geofísica.

Relativamente à geologia regional devem observar-se as rochas encaixantes e respectivas relações com os pegmatitos, assim como todas as estruturas (xistosidade, bandeamentos, crenulações, pequenas dobras, fracturas e falhas).

A geologia local deve referenciar a petrografia e geologia estrutural e as relações de contacto com a rocha encaixante, granítica e metamórfica.

É também importante a descrição dos pegmatitos onde se incluem as coordenadas do local, os acessos, o encaixante, a forma e tamanho (com indicação do comprimento, da espessura e profundidade explorável), a classificação, as unidades observadas, o grau de alteração, uma avaliação dos teores e reservas, a situação topográfica, a espessura dos terrenos de cobertura e a situação legal e ambiental.

Na elaboração do plano de pesquisa deve-se considerar a zonalidade (descrição petrográfica pormenorizada das zonas, avaliação da composição mineral de cada zona e avaliação do volume de cada zona), a colheita de amostras de cada mineral em locais

representativos, selecção das fracções monominerálicas sob lupa binocular e análise dos metais raros e alcalinos em cada uma das fracções.

Nesta fase é importante proceder a algumas análises químicas e alguns cones de queima para verificar o comportamento do mineral relativamente à fusibilidade, cor, brilho, homogeneidade física e dilatação, entre outras.

Também assume particular importância a observação da mineralogia de cada zona. O mapeamento de detalhe deve incluir a topografia (importante para o cálculo de volumes), poços ou trincheiras realizados para definição da cobertura, grau de alteração e definição de contactos, sondagens e geofísica como complemento da pesquisa pois, como já foi referido neste trabalho, estes métodos apresentam algumas limitações.

À determinação dos teores e eventuais reservas segue-se a definição das diferentes zonas e composições mineralógicas, tendo em vista o aproveitamento económico de cada uma. Por fim, pode proceder-se à formação de blocos e cálculo de reservas, quer recorrendo a métodos geométricos ou geoestatísticos, ou outros. Esta metodologia encontra-se esquematizada nas figuras 158 e 159.

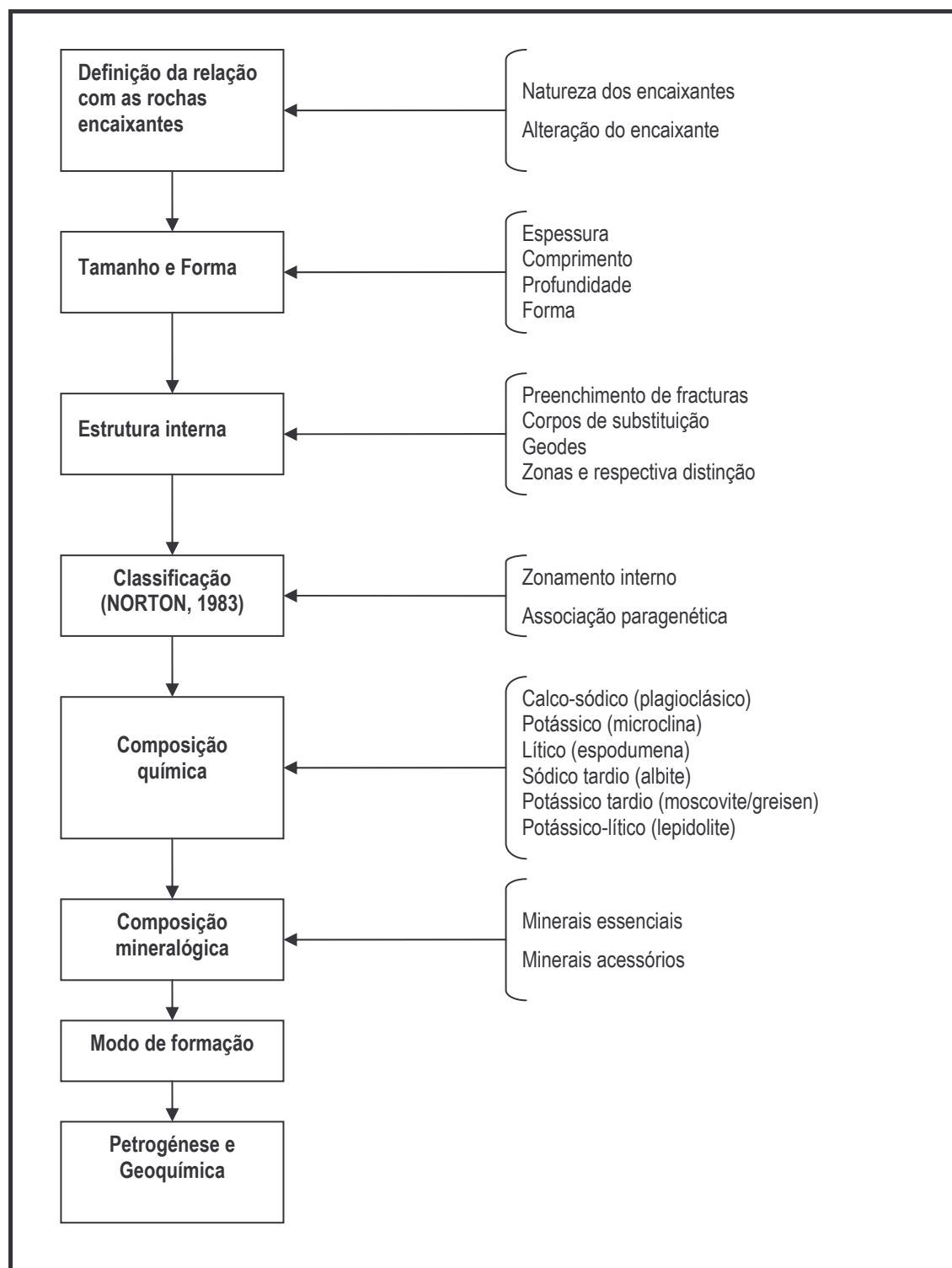


Fig. 158 - Metodologia proposta para avaliação dos corpos pegmatíticos com base na respectiva evolução e classificação

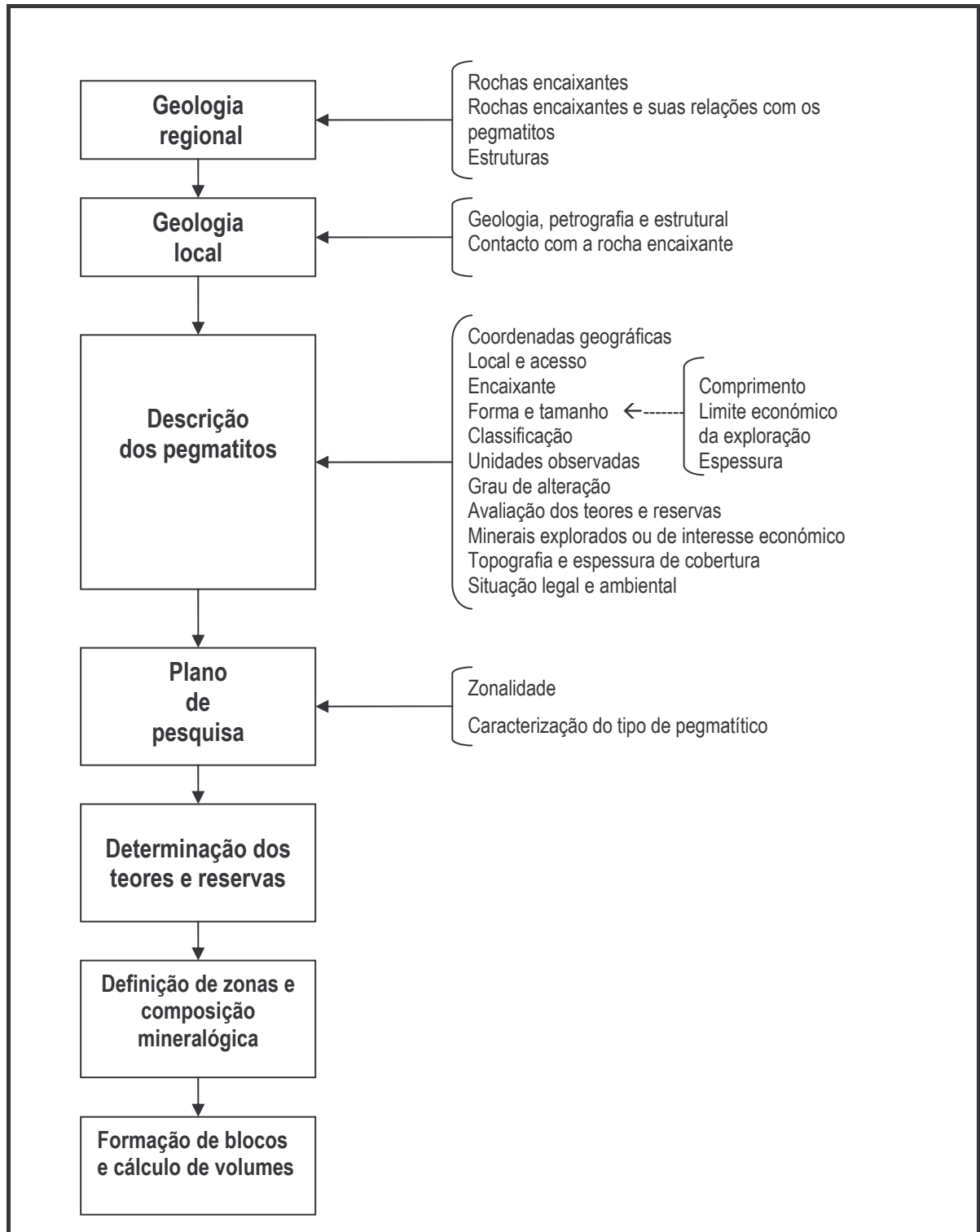


Fig. 159 - Metodologia proposta para prospecção dos corpos pegmatíticos

*RESULTADOS ANALÍTICOS OBTIDOS NA
AMOSTRAGEM E POSSÍVEIS APLICAÇÕES
PARA OS QUARTZOS E FELDSPATOS
ESTUDADOS*

11. RESULTADOS ANALÍTICOS OBTIDOS NA AMOSTRAGEM E POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA OS QUARTZOS E FELDSPATOS ESTUDADOS

Do ponto de vista macroscópico, as amostras ensaiadas evidenciam algumas diferenças entre si.

Relativamente aos quartzos verifica-se que a quase generalidade das amostras exhibe um aspecto leitoso, com uma cor branca uniforme, das quais se destacam as amostras de Poço Palheiro, Freches e Vila Longa.

A generalidade das amostras de quartzo apresenta-se, também, bastante compacta (à excepção de duas amostras de Vila Longa) e difícil de partir, sendo comum em todas elas a presença de microfracturas.

As amostras de feldspato, de um modo geral, apresentam pequenas contaminações de micas, mais visíveis nas amostras da Sr.^a da Assunção. Neste depósito são bem visíveis massas individualizadas de feldspatos potássico e sódico, exibindo as cores salmão e branca, respectivamente.

As características químicas constituem a principal propriedade a ser observada, pois a respectiva influência é decisiva e determinante relativamente às aplicações industriais. Apresentam-se, em seguida, os resultados analíticos obtidos nas amostras de quartzo (quadros 52 a 57) e feldspato (quadros 58 a 64) ensaiadas.

11.1 Resultados obtidos nos quartzos ensaiados

Quadro 52- Resultados das amostras de Dornas (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
D1	98,9	0,23	0,19	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,26
D2	99,65	0,02	0,14	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,2
D3	98,94	0,02	0,27	0,01	0,009	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,16
D4	99,35	0,15	0,28	0,02	0,009	0,02	0,01	0,01	0,023	0,04	0,106
D5	99,24	0,01	0,32	0,03	0,009	0,05	0,01	0,02	0,028	0,04	0,056
D6	99,65	0,01	0,2	0,01	0,009	0,04	0,01	0,02	0,033	0,04	0,006

Quadro 53- Resultados das amostras de Vila Longa (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
VL1	99,46	0,02	0,21	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,34
VL2	99,59	0,02	0,11	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	0,31
VL3	98,9	0,23	0,19	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,37
VL4	99,46	0,22	0,04	0,04	0,03	0,01	0,04	0,01	0,02	0,03	0,15
VL5	99,79	0,14	0,023	0,014	0,033	0,02	0,003	0,001	0,03	0,04	0,22
VL6	99,88	0,09	0,017	0,001	0,008	0,01	0,002	0,003	0,02	0,03	0,26
VL7	99,9	0,06	0,011	0,063	0,008	0,03	0,001	0,002	0,03	0,039	0,29
VL8	99,76	0,18	0,01	0,001	0,041	0,01	0,003	0,003	0,02	0,038	0,295
VL9	99,92	0,14	0,01	0,001	0,004	0,01	0,001	0,007	0,02	0,03	0,24
VL10	99,63	0,26	0,033	0,027	0,048	0,02	0,003	0,002	0,023	0,03	0,307

Quadro 54 - Resultados das amostras da Sr.^a da Assunção (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P,R,
SS1	99,56	0,22	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,1	0,02	0,03	0,18
SS2	99,27	0,22	0,05	0,09	0,03	0,2	0,04	0,01	0,02	0,03	0,18
SS3	89,7	6,5	0,12	0,2	1,52	1,6	0,01	0,03	0,008	0,09	0,6
SS4	97,8	0,3	0,11	1,0	0,04	0,04	0,02	0,33	0,013	0,06	0,24
SS5	99,6	0,08	0,02	0,16	0,004	0,012	0,006	0,072	0,003	0,02	0,19
SS6	96,77	1,3	0,074	0,643	0,312	0,321	0,003	0,187	0,000	0,049	0,302
SS7	96,63	1,36	0,076	0,758	0,308	0,304	0,012	0,214	0,03	0,05	0,31
SS8	96,49	1,42	0,078	0,873	0,303	0,286	0,02	0,240	0,07	0,051	0,318

Quadro 55 – Resultados analíticos das amostras de Poço Palheiro (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P,R,
PP1	98,71	0,02	0,07	0,01	0,008	0,13	0,01	0,02	0,02	0,03	0,61
PP2	98,72	0,02	0,06	0,01	0,008	0,009	0,01	0,02	0,02	0,03	0,65
PP3	99,02	0,02	0,07	0,01	0,008	0,12	0,01	0,02	0,02	0,03	0,63
PP4	99,03	0,02	0,06	0,01	0,008	0,17	0,01	0,02	0,02	0,04	0,54
PP5	99,04	0,02	0,05	0,01	0,009	0,22	0,01	0,02	0,02	0,05	0,45
PP6	99,20	0,02	0,05	0,01	0,009	0,232	0,01	0,02	0,02	0,051	0,447
PP7	99,04	0,02	0,05	0,01	0,009	0,22	0,01	0,02	0,02	0,05	0,45

Quadro 56– Resultados analíticos das amostras de Freches (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P,R,
F1	98,76	0,26	0,21	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,79
F2	99,37	0,02	0,06	0,01	0,005	0,11	0,01	0,02	0,02	0,04	0,56
F3	99,36	0,02	0,08	0,01	0,01	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	0,51
F4	99,35	0,02	0,1	0,01	0,014	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,46
F5	99,65	0,03	0,035	0,01	0,009	0,035	0,03	0,02	0,02	0,04	0,32
F6	99,83	0,1	0,004	0,01	0,008	0,03	0,034	0,02	0,02	0,04	0,216

Quadro 57– Resultados analíticos das amostras de Pedras Pintas (dados em %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P,R,
PP1	99,33	0,02	0,08	0,01	0,008	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,54
PP2	99,26	0,02	0,09	0,01	0,009	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,38
PP3	99,12	0,02	0,09	0,01	0,009	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04	0,43
PP4	99,28	0,02	0,09	0,01	0,009	0,14	0,01	0,02	0,02	0,02	0,56
PP5	99,44	0,03	0,09	0,01	0,009	0,25	0,01	0,02	0,02	0,005	0,69
PP6	99,6	0,02	0,09	0,01	0,009	0,36	0,01	0,02	0,02	0,01	0,82
PP7	99,76	0,02	0,09	0,01	0,009	0,47	0,01	0,02	0,02	0,01	0,95

11.1.1 Possíveis aplicações para os quartzos em função dos resultados obtidos das amostras estudadas

Os resultados analíticos obtidos na análise dos quartzos amostrados permitiram as seguintes conclusões:

Aqueles quartzos não apresentam, salvo raras exceções, qualquer limitação quanto à respectiva utilização na produção de ferro silício, muito embora alguns apresentassem valores de Al₂O₃ e Fe total superiores aos permitidos.

Em relação à produção de metal silício, apenas o depósito de Poço Palheiro não cumpre os parâmetros exigidos quanto ao teor em SiO₂. Apesar dos teores das principais impurezas se situarem a níveis inferiores da especificação, o mesmo não se pode dizer relativamente ao teor de Fe total que não deveria ultrapassar 0,1%, excluindo, assim, as amostras do depósito de Dornas, Vila Longa e uma de Freches.

Dada a correlação existente entre os teores de sílica e perda ao rubro, conclui-se que estes últimos valores são função da presença de impurezas nas amostras estudadas.

Nas indústrias de electrónica e óptica, que apenas toleram 10ppm como quantidade total de impurezas existentes, somente quatro amostras cumpriram esse parâmetro, donde se conclui que, pela exigência destas indústrias, a grande maioria dos quartzos amostrados não são susceptíveis de aplicação.

Para as restantes aplicações, nomeadamente, torres e tanques de ácido, pré aquecedores de ar e filtragem, os quartzos amostrados também ficam excluídos, não por limitações de natureza química, mas sim de natureza física. A característica fundamental para que o quartzo possa ser utilizado nessas aplicações tem a ver com a forma das partículas, que deveria ser esférica, o que nunca acontecerá a um material submetido a britagem.

A utilização do quartzo na produção de silício para fins químicos não parece comprometida, ainda que, algumas das impurezas, tais como o ferro e a alumina, nem sempre satisfaçam a exigência desse mercado.

Por fim, parece ser importante estudar a possibilidade de novos mercados, para os quais as características químicas não são limitadoras, como por exemplo, a aplicação desses materiais em indústrias de fabrico de aglomerados à base de resina e em sectores da cerâmica, tais como o do pavimento. Estes mercados, já florescentes, podem constituir um importante contributo para a racionalização das reservas, em especial para depósitos com a tipologia dos estudados neste trabalho.

11.2 Resultados obtidos nos feldspatos ensaiados

Quadro 58- Resultados das amostras de Vilar Formoso (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
V1	74,80	15,80	2,16	0,03	2,86	0,00	0,12	0,23
V2	75,50	15,60	1,87	0,03	2,50	0,00	0,13	0,21
V3	76,00	14,90	1,99	0,03	2,25	0,00	0,12	0,18
V4	74,90	15,30	2,45	0,03	2,66	0,00	0,13	0,21
V5	75,70	14,60	2,20	0,11	4,30	0,13	0,13	0,31

Quadro 59 - Resultados das amostras de Amarante (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
F1	72,04	15,26	0,54	0,68	3,74	4,74	0,12	0,06
F2	72,29	15,12	0,68	0,42	4,51	4,05	0,12	0,06
F3	76,50	13,00	0,80	0,24	4,73	2,62	0,12	0,06
F4	74,70	14,70	0,95	0,15	3,58	2,76	0,12	0,06
F5	73,90	15,30	0,86	0,08	4,51	1,97	0,12	0,06
F6	77,60	13,00	0,80	0,24	3,66	2,28	0,12	0,06
F7	70,00	19,60	0,55	0,24	3,71	4,06	0,12	0,06
F8	71,56	19,76	0,70	0,23	4,07	2,62	0,12	0,06
F9	75,50	14,10	0,60	0,20	3,90	3,00	0,12	0,06
F10	74,16	14,40	0,39	0,40	4,34	4,06	0,12	0,06
F11	73,44	19,24	0,91	0,26	3,72	1,61	0,12	0,06
F12	71,62	19,34	0,31	0,30	3,71	4,34	0,12	0,06
F13	68,55	21,38	0,47	0,25	4,14	3,93	0,12	0,06
F14	68,60	22,25	0,90	0,22	4,27	1,97	0,12	0,06
F15	68,96	21,77	0,38	0,28	3,97	3,92	0,12	0,06
F16	70,06	19,60	0,55	0,24	3,71	4,06	0,12	0,06
F17	71,56	19,76	0,68	0,23	4,07	2,62	0,12	0,06
F18	76,50	14,10	0,60	0,31	4,22	3,40	0,12	0,06
F19	75,30	14,50	0,73	0,17	3,85	2,71	0,12	0,06
F20	72,90	15,60	0,73	0,17	4,23	2,19	0,12	0,06
F21	75,50	14,00	0,76	0,24	4,30	2,75	0,12	0,06
F22	75,50	14,11	0,72	0,31	4,22	3,29	0,12	0,06
F23	76,50	13,00	0,80	0,24	4,73	2,62	0,12	0,06
F24	74,40	14,40	0,90	0,26	4,24	3,23	0,12	0,06

Quadro 60 - Resultados das amostras de Vila Longa (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
G1	78,74	13,59	0,57	0,23	3,67	2,85	0,00	0,00
G2	70,52	19,28	0,50	0,29	1,79	7,23	0,00	0,00
G3	76,86	14,10	0,55	0,27	2,15	5,23	0,00	0,00
G4	74,15	17,32	0,56	0,22	3,80	2,70	0,00	0,00
G5	77,63	13,45	0,62	0,21	4,10	3,15	0,00	0,00
G6	76,32	13,86	0,60	0,22	3,20	3,53	0,00	0,00
G7	75,19	16,31	0,55	0,25	2,40	4,22	0,00	0,00

Quadro 61 - Resultados das amostras de Sr.^a da Assunção (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
S1	73,25	17,11	1,55	0,40	3,12	4,11	0,05	0,02
S2	70,83	17,00	2,35	0,83	1,41	6,80	0,09	0,31
S3	73,44	17,27	0,48	0,29	1,32	6,55	0,19	0,07
S4	75,67	16,13	0,32	0,22	1,08	0,17	0,06	0,00
S5	75,04	15,45	0,62	0,64	1,42	6,02	0,06	0,35
S6	84,15	10,21	0,58	0,61	2,79	0,15	0,00	1,11
S7	73,16	16,75	0,57	0,53	1,45	6,96	0,00	0,19
S8	73,71	16,53	0,48	0,42	1,48	6,81	0,02	0,14
S9	74,06	14,62	1,69	0,54	4,89	3,24	0,14	0,41

Quadro 62 - Resultados das amostras de Vale da Moura (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
M1	77,66	14,60	0,58	0,30	1,93	4,38	0,11	0,04
M2	75,54	14,25	1,68	0,46	3,87	3,28	0,20	0,31
M3	74,16	16,74	0,47	0,33	1,61	6,19	0,06	0,04
M4	75,29	15,32	0,82	0,32	4,28	3,15	0,22	0,21
M5	74,30	15,56	1,01	0,45	3,32	4,80	0,08	0,08
M6	70,68	16,87	1,36	0,41	6,59	3,21	0,20	0,30
M7	75,67	14,92	0,72	0,30	3,96	3,58	0,24	0,21
M8	79,06	13,07	0,47	0,28	1,22	5,20	0,24	0,07
M9	75,31	14,33	0,61	0,45	4,32	4,30	0,14	0,14
M10	74,76	16,81	0,59	0,32	1,64	5,28	0,08	0,13
M11	74,27	15,60	0,52	0,29	5,03	3,85	0,02	0,02
M12	69,25	19,40	0,31	0,41	1,65	8,66	0,00	0,00
M13	75,05	16,31	0,49	0,20	1,36	6,28	0,01	0,00
M14	69,99	19,17	0,10	0,34	1,31	8,82	0,00	0,00
M15	79,64	12,63	0,46	0,25	1,75	4,74	0,03	0,09
M16	79,60	12,91	0,51	0,30	2,23	4,09	0,00	0,00
M17	73,63	16,74	0,13	0,47	1,32	7,20	0,14	0,00
M18	79,80	13,00	0,69	0,28	2,50	3,30	0,04	0,00
M19	64,40	23,80	1,05	0,34	3,53	3,66	0,09	0,37
M20	64,20	22,80	1,24	0,39	6,01	2,16	0,19	0,50

Quadro 63 - Resultados das amostras de Casal de Cinza (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
C1	81,54	12,54	0,64	0,06	2,44	2,42	0,50	0,00
C2	73,39	17,01	0,27	0,18	0,60	8,12	0,06	0,00
C3	74,39	16,03	0,55	0,36	1,21	6,92	0,11	0,02
C4	75,22	15,36	0,65	0,58	1,60	6,09	0,07	0,02
C5	69,77	18,01	0,87	1,48	2,47	6,84	0,04	0,12
C6	70,52	12,69	17,60	0,20	0,65	8,14	0,00	0,00
C7	65,21	20,31	1,15	1,77	2,97	7,83	0,09	0,26
C8	66,63	20,34	1,07	0,80	1,88	8,59	0,10	0,19
C9	73,14	16,37	1,84	0,40	1,12	6,61	0,02	0,10
C10	79,35	13,29	0,73	0,34	1,81	4,08	0,00	0,00
C11	78,64	13,38	0,34	0,21	2,07	4,64	0,28	0,04
C12	78,18	14,25	0,40	0,12	0,92	5,54	0,20	0,00
C13	77,06	14,99	0,18	0,06	1,48	5,59	0,22	0,01
C14	66,69	19,72	0,87	0,23	10,01	1,95	0,04	0,10
C15	73,69	15,53	0,75	0,23	6,37	2,78	0,15	0,00
C16	76,52	14,49	0,53	0,36	1,33	6,19	0,17	0,01

Quadro 64 - Resultados das amostras do Fundão (dados em %)

Referência	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
A1	68,55	18,12	0,37	0,28	2,99	5,55	0,04	0,01
A2	67,50	18,95	0,22	0,11	2,79	5,11	0,04	0,01
A3	68,55	18,16	0,23	0,40	2,82	5,48	0,04	0,01
A4	66,91	19,08	0,19	0,07	3,01	5,98	0,04	0,09
A5	68,76	17,99	1,01	0,14	3,53	4,29	0,04	0,01
A6	69,72	18,01	0,24	0,10	2,25	5,87	0,04	0,10
A7	65,83	19,63	0,23	0,20	2,79	5,62	0,04	0,04
A8	68,71	18,07	0,24	0,08	2,64	5,53	0,04	0,01
A9	68,63	18,47	0,32	0,11	2,28	5,80	0,04	0,06
A10	68,46	18,65	0,38	0,08	2,33	5,92	0,04	0,04
A11	68,61	18,31	0,26	0,17	2,54	5,85	0,04	0,10
A12	69,59	17,32	0,69	0,13	3,01	4,65	0,04	0,03
A13	70,49	16,86	0,87	0,07	3,08	4,20	0,04	0,10
A14	68,26	18,27	0,25	0,09	2,71	5,96	0,04	0,01
A15	70,30	17,09	0,31	0,87	2,85	3,95	0,04	0,30
A16	69,16	17,97	0,50	0,09	3,17	4,68	0,04	0,07

11.2.1 Possíveis aplicações para os feldspatos em função dos resultados obtidos das amostras estudadas

Algumas amostras de feldspato estudadas revelam importantes limitações quanto à respectiva aplicação, em alguns sectores da indústria cerâmica.

Como principal razão pode apontar-se a elevada exigência, relativamente à quantidade de impurezas que admitem e ao teor de álcalis que exigem.

Pode referir-se concretamente o sector da porcelana, relativamente ao qual o teor em Fe_2O_3 que as amostras estudadas exibem, é fortemente penalizante para este tipo de aplicação, daí que apenas uma amostra tivesse obedecido aos parâmetros exigidos.

Quanto ao sector do grés cerâmico, os resultados foram muito semelhantes, só que neste caso, a quase impossibilidade de aplicação neste sector resulta do elevado teor em Al_2O_3 , já que as composições químicas médias admissíveis apontam para teores em Al_2O_3 entre 20 e 25%, o que exclui a quase totalidade das amostras ensaiadas.

Também para o sector dos sanitários, o teor em impurezas penalizou fortemente a aplicação industrial dos feldspatos amostrados, muito embora duas amostras do distrito da Guarda e várias do distrito de Castelo Branco obedecessem aos requisitos exigidos pelo referido sector.

Os sectores da faiança e do pavimento, e especialmente este último, não constituem problema quanto à possível utilização dos feldspatos estudados.

Contudo, acresce referir que de todas as áreas amostradas a área de Castelo Branco foi a que se revelou com maior aptidão para a generalidade das possíveis aplicações estudadas.

É de salientar ainda, que as limitações encontradas em termos da aplicação destes feldspatos, não resultam de elementos penalizantes com teores tão excessivos que inviabilizem a sua utilização industrial, uma vez que, se submetidos a processos de beneficiação adequados, tais como a separação magnética e flutuação, poderão melhorar substancialmente as suas características químicas.

Não foi dada uma especial atenção às características destes feldspatos para serem aplicados como cargas na indústria, dado que apresentam teores em sílica um

pouco elevados, devido à natural associação ao quartzo, e porque também o referido sector representa apenas uma pequena quota de mercado.

Em termos de indústria do vidro, as amostras de feldspato apresentam, de um modo geral, teores em Al_2O_3 e F_2O_3 , bastante elevados, para poderem ser aplicados nos sectores mais nobres daquela indústria. Contudo, para aplicações menos exigentes como o vidro de embalagem e especialmente certas fibras de vidro, alguns dos feldspatos estudados satisfazem os parâmetros exigidos.

Os teores em sílica nas amostras ensaiadas, salvo raras excepções, também ficam aquém dos valores necessários.

Assim, os resultados obtidos na análise dos feldspatos amostrados apontam como potencial aplicação para o feldspato a indústria cerâmica, nos seus diversos sectores.

*POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA OS MATERIAIS
ROCHOSOS ASSOCIADOS ÀS FORMAÇÕES
PEGMATÍTICAS*

12. POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA OS MATERIAIS ROCHOSOS ASSOCIADOS ÀS FORMAÇÕES PEGMATÍTICAS

12.1 Rocha Ornamental

Enquadrados num dos objectivos deste estudo, ou seja, no intuito de rentabilizar economicamente os depósitos pegmatíticos perspectivando a comercialização de todos os materiais que ocorrem associados ao quartzos e feldspatos, realizaram-se ensaios para caracterização desses materiais com vista à respectiva aplicação como rocha ornamental.

Assim, e porque entendemos serem os únicos depósitos com características mais adequadas à produção de rocha ornamental, foram ensaiados os materiais de natureza granítica associados aos depósitos da Sr.^a da Assunção e do Fundão, já que as restantes formações estudadas exibem materiais com um grau de alteração incompatíveis com o tipo de aplicação pretendido. Contudo, os depósitos teriam de ser alvo de uma cuidadosa selecção relativamente às áreas a explorar para rocha ornamental, pois apresentam alguma fracturação que poderá ser de algum modo limitadora.

Entendeu-se, portanto, que a metodologia a utilizar deveria incluir os ensaios que validassem as aplicações mais comuns das rochas ornamentais, designadamente em revestimentos e pavimentos para utilizações interiores, já que outras aplicações são objecto de maiores exigências, tal como se pode observar no quadro 65.

Tendo em vista o objectivo deste trabalho, e de acordo com a metodologia definida, realizaram-se os seguintes ensaios:

- Resistência mecânica à compressão (DIN 52105);
- Resistência mecânica à flexão (DIN 52112);
- Massa volúmica aparente (DIN 52102);
- Absorção de água (DIN 52103);
- Porosidade aberta (DIN 52103);
- Resistência ao desgaste (DIN 52108);
- Resistência à rotura por impacto.

12.1.1 Análise macroscópica dos materiais ensaiados

As amostras estudadas caracterizam-se, sob o ponto vista macroscópico, do seguinte modo:

- A amostra do Fundão refere-se a um microgranito leucocrático com uma textura porfírica, constituído essencialmente por quartzo, feldspato e mica branca dispersos numa textura sacaróide branca de granulometria milimétrica, muito fina.
- As amostras do granito de Sr.^a de Assunção apresentam duas fácies litológicas distintas, uma de tom amarelado e outra de tom acinzentado:
 - A amostra de tonalidade amarelada é caracterizada por um granito porfíroide de duas micas, essencialmente biotítico, de granularidade média a grosseira, com frequentes megacristais de feldspato, e podendo-se classificar do ponto de vista do grau de alteração como do tipo W₃ a W₄.
 - A amostra com tonalidade acinzentada é caracterizada por um granito porfíroide de duas micas, essencialmente biotítico, apresentando uma granularidade de média a grosseira, e podendo-se classificar do ponto de vista do grau de alteração como do tipo W₁₋₂.

12.1.2 Uso final dos materiais ensaiados em função dos valores padrão para as diferentes aplicações

12.1.2.1 Propriedades relevantes para a aplicação final da rocha - ensaios de validação

Dada a variedade de aplicações atribuídas às rochas ornamentais há propriedades dos diferentes tipos de materiais usados para esse fim que assumem particular importância, e são bastante limitadoras, relativamente à respectiva utilização, conforme se pode observar no quadro 65.

São três os tipos de classificação atribuídos às propriedades que as rochas devem apresentar para serem aplicadas como rocha ornamental, em função da respectiva importância:

- Tipo A – como muito importantes
- Tipo B – como importantes
- Tipo C – como pouco importantes

Quadro 65 – Importância das várias propriedades de acordo com as aplicações mais comuns

	Revestimentos		Pavimentos		Escadaria	Colunas e Pilares	Ardósias telhados
	Interiores	Exteriores	Interiores	Exteriores			
Análise Petrográfica	B	B	B	B	B	B	B
Análise Química	C	C	C	C	C	C	C
Massa Volúmica	B	B	B	B	B	B	B
Abs.H ₂ O e Porosidade Aberta	C	B	C	B	C	B (ext.)	A
Res. Compressão	C	B	C	B	B	A	-
Gelividade	-	A	-	A	A (ext.)	A (ext.)	-
Res. Flexão	C	B (*a)	B	B	A	-	A
Dilat. Lin. Térmica	-	A	-	B	-	A	-
Res. Desgaste	-	C	B	A	A	-	-
Res. Choque	C (*c)	C (*c)	B	A	A	-	-
Res. Agrafagens	B	A	-	-	-		
Res. Deslizamento	-	-	B	A	A	-	-
Modulo de Elasticidade	-	A	-	B	A	-	C
Microdureza knoop	-	C	B	A	B	-	-
Durabilidade							
Resistência Choque Térmico	C	A	C	A	B	-	A
Res. Sais	-	(*b)	-	(*b)	(*b)	(*b)	(*b)
Res. Ácidos	-	(*b)	-	(*b)	(*b)	(*b)	(*b)
Conteúdo carbonatos	-	-	-	-	-	-	A

Legenda : A – Muito Importante B – Importante C – pouco Importante
 (*a) – recomendado caso a aplicação seja por meio de agrafagens
 (*b) – recomendado em função do ambiente
 (*c) – passa a ter importância A quando aplicado em zonas baixas de paredes (rodapés)

Relativamente às aplicações avaliadas neste estudo, revestimentos e pavimentos interiores, verifica-se que nenhuma das propriedades é considerada como muito importante (Tipo A), mas propriedades como a massa volúmica e a resistência às agraphagens já são consideradas importantes (Tipo B).

Assumem pouca importância (Tipo C), para as mesmas aplicações, a análise química, a absorção de água, porosidade aberta, resistência à flexão, resistência à rotura por impacto (excepto para aplicações em rodapé que passará ao Tipo A) e resistência ao choque térmico

12.1.2.2 Resultados obtidos nos ensaios para cada tipo de granito estudado

Para a determinação do tipo de aplicação final de uma rocha ornamental é necessário que as suas propriedades se encontrem dentro dos valores padrão dos principais ensaios.

Os resultados obtidos nos diversos ensaios realizados estão indicados nos quadros 66, 67, 68, 69, 70 e 71 onde se referem as possíveis aplicações, tendo em conta os limites máximo e mínimo aceitáveis, para as rochas estudadas em função das respectivas características.

Microgranito do Fundão

Relativamente à satisfação dos intervalos padrão dos diversos ensaios, o microgranito do Fundão só satisfaz plenamente o da resistência à rotura por impacto, ficando a massa volúmica a uma décima do valor padrão mínimo. A absorção de água e a porosidade aberta distanciam-se significativamente do valor máximo, enquanto as resistências mecânicas à compressão e à flexão exibem valores muito afastados dos mínimos aceitáveis.

Considera-se que a rocha poderá ser utilizada em revestimentos interiores, ainda que o valor da massa volúmica aparente se encontre fora do intervalo mas muito próximo do valor mínimo necessário, entendendo-se o valor como aceitável, visto que o acabamento dado à rocha influencia positivamente o seu comportamento.

Quadro 66 - Resultados obtidos para o microgranito do Fundão

Ensaio realizado	Min.	Máx.	Obtido
Resistência Mecânica à Compressão (kg/cm ²)	1600	2400	780
Resistência Mecânica à Flexão (kg/cm ²)	100	200	81
Massa Volúmica Aparente (kg/cm ³)	2,62	2,85	2,61
Absorção de Água (% Peso)	0,20	0,5	2,16
Porosidade Aberta (% Vol.)	0,4	1,4	5,33
Resistência ao Desgaste (mm)	0,1	0,8	7,6
Resistência à rotura por impacto (cm)	85	110	105

O quadro 67 aponta as possíveis aplicações para o microgranito do Fundão, em função dos resultados obtidos nos ensaios realizados.

Quadro 67 - Possíveis aplicações para o microgranito do Fundão

Aplicações	
Revestimentos Interiores	✓
Pavimentos Interiores	✗

Granito da Sr.^a da Assunção – fácies “amarelo”

O único resultado que se enquadra nos valores padrão é o da massa volúmica aparente, pois todos os outros se situam fora dos limites obrigatórios devido ao grau de alteração observado no granito da Sr.^a da Assunção (fácies amarelo), cuja falta de coesão está bem patente nos resultados evidenciados pelos ensaios da absorção de água, porosidade aberta e resistência ao desgaste.

Quadro 68 – Resultados obtidos para o granito da Sr.^a da Assunção – fácies “amarela”

Ensaio realizado	Min.	Máx.	Obtido
Resistência Mecânica a Compressão (kg/cm ²)	1600	2400	492
Resistência Mecânica à Flexão (kg/cm ²)	100	200	0
Massa Volúmica Aparente (kg/cm ³)	2,62	2,85	2,63
Absorção de Água (% Peso)	0,20	0,5	2,93
Porosidade Aberta (% Vol.)	0,4	1,4	7,95
Resistência ao Desgaste (mm)	0,1	0,8	10,8
Resistência à rotura por impacto (cm)	85	110	55

Salienta-se, também, a falta de aptidão para as aplicações em avaliação pelo fraco resultado obtido no ensaio de resistência mecânica à compressão bem como a total falta de resistência à flexão.

Como se pode verificar no quadro 69 não é possível atribuir quaisquer aplicações para este tipo de material.

Quadro 69 - Possíveis aplicações para o granito da Sr.^a da Assunção – fácies amarela

Aplicações	
Revestimentos Interiores	✗
Pavimentos Interiores	✗

Granito da Sr.^a da Assunção – fácies “cinzento”

Os resultados obtidos nos ensaios realizados sobre este material revelam uma razoável aptidão para aplicação em revestimentos e pavimentos interiores.

O granito da Sr.^a da Assunção fácies “cinzento” satisfaz praticamente todos os intervalos padrão com as exceções do ensaio de resistência à compressão simples, resistência ao desgaste e resistência à rotura por impacto, apresentando-se como marginais a resistência à compressão simples e a resistência à rotura por impacto, enquanto a resistência ao desgaste ultrapassa bastante o limite máximo.

Quadro 70 - Resultados obtidos para o granito da Sr.^a da Assunção – fácies “cinzenta”

Ensaio realizado	Mín.	Máx.	Obtido
Resistência Mecânica a Compressão (kg/cm ²)	1600	2400	1342
Resistência Mecânica à Flexão (kg/cm ²)	100	200	118
Massa Volúmica Aparente (kg/cm ³)	2,62	2,85	2,67
Absorção de Água (% Peso)	0,20	0,5	0,41
Porosidade Aberta (% Vol.)	0,4	1,4	1,09
Resistência ao Desgaste (mm)	0,1	0,8	2,4
Resistência à rotura por impacto (cm)	85	110	80

O quadro 71 aponta as possíveis aplicações para o granito da Sr.^a da Assunção - fácies cinzento, em função dos resultados obtidos nos ensaios realizados.

Quadro 71 - Possíveis aplicações para o granito da Sr.^a da Assunção - fácies cinzento

Aplicações	
Revestimentos Interiores	✓
Pavimentos Interiores	✓

O resultado da comparação dos dados dos ensaios com os valores padrão para os ensaios de caracterização em função do tipo de rocha ígnea e com a importância das várias propriedades de acordo com as aplicações mais comuns conclui-se que o microgranito do Fundão apenas pode ser utilizado em revestimentos interiores.

O granito da Sr.^a da Assunção – fácies “amarelo” não reúne as condições mínimas para ser aplicado como rocha ornamental, mas por seu lado o granito associado ao pegmatito da Sr.^a da Assunção – fácies “cinzento” reúne condições mínimas para a respectiva utilização como rocha ornamental em revestimentos e pavimentos interiores.

As amostras de microgranito do Fundão e do granito da Sr.^a da Assunção (fácies cinzento) podem considerar-se muito interessantes, sob o ponto de vista decorativo, devido ao aspecto liso e cor que exibem.

12.2 Produção de agregados

Uma outra possibilidade investigada neste trabalho com o objectivo de, tal como já se explicou, rentabilizar a extracção dos quartzos e feldspatos de depósitos pegmatíticos ou similares, consistiu na avaliação dos materiais rochosos para a produção de agregados com aplicação nos sectores da construção civil e obras públicas.

Acontece que em alguns dos depósitos estudados neste trabalho se observam coberturas, com algumas dezenas de metros de espessura (depósito da Sr.^a da Assunção), de materiais de natureza granítica que limitam, sob o ponto de vista económico, o acesso às massas de quartzo e feldspato.

Deste modo, preconizar soluções como a que estamos a considerar, produção de agregados, pode viabilizar a rentabilidade económica destes depósitos e vai no sentido da exploração integral que se vem defendendo ao longo do trabalho. Importa, portanto, projectar instalações de tratamento que permitam simultaneamente tratar o quartzo, o feldspato e produzir agregados para os sectores da construção civil e obras públicas.

Ensaaiaram-se agregados produzidos a partir deste tipo de materiais e concluiu-se que, na generalidade dos lotes produzidos, esses agregados apresentam qualidade suficiente e de acordo com a normalização actualmente vigente (fig. 160).



Fig. 160- Agregados produzidos de materiais graníticos associados aum depósito pegmatítico

Apresenta-se na figura 161 um diagrama de tratamento susceptível de aplicação em depósitos pegmatíticos com vista à produção de quartzo, feldspatos e outras matérias-primas, assim como agregados para os setores da construção civil e das obras públicas.

Este diagrama contempla as granulometrias exigidas às matérias-primas, tendo em vista a respectiva aplicação industrial e, simultaneamente, as granulometrias adequadas à comercialização dos sub-produtos como agregados. Uma vez que os calibres inferiores a 30 mm (no caso dos quartzos) não são utilizáveis na indústria metalúrgica, são excluídos da escolha manual para serem fragmentados e classificados na perspectiva da utilização como agregados.

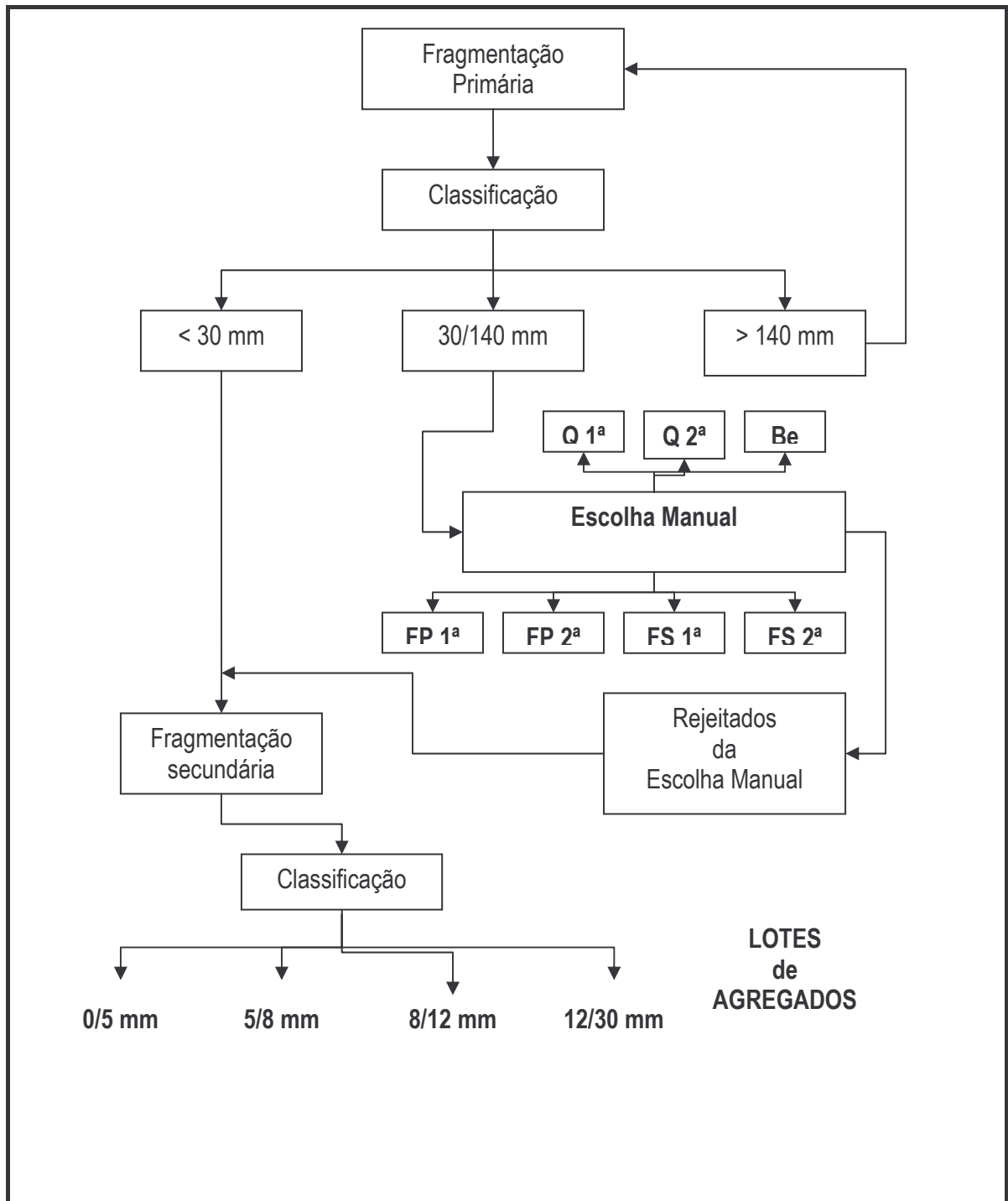


Fig. 161- Proposta de diagrama de tratamento de materiais pegmatíticos com vista à produção das diferentes qualidades de quartzo, feldspato, berilo, e agregados para a construção civil o obras públicas.

13. ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A informação que vulgarmente se utiliza nas Ciências da Terra apresenta-se habitualmente organizada sob a forma de matrizes formada por n linhas (a que normalmente correspondem os n valores amostrados ou indivíduos) e por p colunas (às quais se fazem corresponder as p variáveis ou atributos).

Não raras vezes, perante a vastidão e multidimensionalidade dos dados coligidos, o investigador vê-se obrigado ao uso de técnicas estatísticas que procuram fazer transparecer, por via de uma adequada sintetização da informação disponível, eventuais relações entre as entidades em estudo. As técnicas referidas, no domínio da estatística multivariada e em particular no área dos métodos factoriais, permitem, com um mínimo de pressupostos teóricos *à priori*, o tratamento dos dados de partida, revelando e concentrando as principais estruturas relacionais entre as diferentes variáveis, entre os próprios indivíduos ou mesmo ainda entre as variáveis e indivíduos.

A Análise em Componentes Principais³⁰, aplicação estatística incluída na família dos métodos factoriais e técnica por excelência aplicada sobre matrizes de dados quantitativos, é uma técnica de análise de dados que recorre a conceitos geométricos com introdução de novas variáveis, obtidas a partir de um sistema com um melhor ajustamento à nuvem de pontos constituída pelas amostras, e que substituem as variáveis originais entendidas como eixos definidores de um espaço onde as amostras se encontram posicionadas.

As variáveis de base apresentam em geral valores médios e variâncias bem diferentes, este aspecto que advém do facto das variáveis serem por vezes expressas em diversas unidades de medida (% , ppm, Kg, m, cm, entre outras), pode traduzir-se nos resultados obtidos pós tratamento da informação e normalmente reflectem apenas o efeito das diferentes unidades de medida utilizadas na medição das variáveis. Uma outra característica habitualmente associada ao tipo de informação em apreço consiste no facto de as variáveis serem medidas em amostras caracterizadas por conjuntos de 1, 2 ou 3

³⁰ Formulada independentemente por Pearson (1901) e Hotteling (1933) e que constitui uma adaptação particular aos métodos factoriais para extrair as características estruturais essenciais de um quadro de dados quantitativos (Sousa, 2000). A partir deste ponto do texto substituir-se-á a expressão Análise em Componentes Principais pelo acrónimo muito utilizado ACP.

coordenadas espaciais³¹ e em questões pontuais por uma outra coordenada (temporal) recolhidas em pontos, ou medidas em volumes centrados nesses pontos, localizados no espaço geográfico. Trata-se, em conclusão, também de informação geo-referenciada susceptível (quando em quantidade suficiente) de ser tratada pelas metodologias geoestatísticas há muito consagradas para o efeito.

Tal como se referiu, os resultados da análise dos dados “tal qual” podem apenas reflectir o efeito das diferentes unidades das variáveis de medida, podendo esse efeito ser atenuado pela transformação da matriz de dados \mathbf{Z} originais numa outra matriz \mathbf{T} , de elemento genérico t_{ij} dado por:

$$t_{ij} = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{z_{ij} - \bar{z}_j}{s_j}$$

em que \bar{z}_j e s_j representam respectivamente, a média aritmética e o desvio padrão dos valores tomados pela variável j . Esta operação consiste na conhecida normalização dos dados e as variáveis assim formadas são agora adimensionais, com média nula e variância unitária. A matriz \mathbf{T} pode ser assimilada a duas nuvens de pontos distintos de acordo com o espaço escolhido, sendo cada linha de \mathbf{T} um vector que representa a posição de um indivíduo no espaço das variáveis R^p e cada coluna de \mathbf{T} um vector que representa a posição de uma variável no espaço dos indivíduos R^n .

O objectivo da ACP consiste em encontrar um novo sistema de eixos que se ajuste o melhor possível, com base em critérios previamente definidos, às nuvens de pontos R^p ou R^n .

O critério dos mínimos quadrados conduz a que os eixos factoriais sejam dados pelos vectores próprios \mathbf{u}_α da chamada matriz de inércia³² das amostras, dada por $\mathbf{T}'\mathbf{T}$ (Pereira e Sousa, 1988), quando aplicado à análise em R^p , com os novos eixos hierarquizados pelos valores próprios λ_α da matriz de inércia. O mesmo se passa quando aplicado à análise em R^n , em que os eixos factoriais são dados pelos vectores próprios \mathbf{v}_α da matriz de inércia das variáveis dadas por $\mathbf{T}\mathbf{T}'$, sendo os novos eixos hierarquizados pelos valores próprios μ_α da matriz de inércia.

³¹ Trata-se de dados regionalizados porque os valores assumidos pelas variáveis dependem da localização espacial.

³² A matriz de inércia consiste na matriz de correlação entre variáveis.

Os p primeiros valores próprios de $\mathbf{T}\mathbf{T}'$ são iguais aos valores próprios de $\mathbf{T}'\mathbf{T}$ e os restantes $n-p$ são nulos, admitindo que $p < n$, assim como os p primeiros eixos factoriais são colineares e estão relacionados pelas seguintes relações de transição:

$$v_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{\alpha}}} T u_{\alpha}$$

$$u_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{\alpha}}} T' v_{\alpha}$$

O número de primeiros eixos factoriais escolhidos também obedece a um critério previamente definido e, segundo Pereira e Sousa (1988), devem explicar uma proporção importante da inércia total e representar os traços principais que constam do quadro de dados.

Da análise da projecção das amostras e das variáveis nos planos formados pelos primeiros eixos factoriais devem ressaltar as principais estruturas presentes através das proximidades e oposições entre variáveis e entre amostras. A projecção simultânea das amostras e das variáveis nos mesmos planos factoriais, que apresenta evidentes vantagens sob o ponto de vista da interpretação dos resultados, resulta das referidas relações de transição.

Verifica-se que a ACP se baseia na obtenção dos vectores e valores próprios da matriz de inércia $\mathbf{T}'\mathbf{T}$ cujo elemento genérico é dado por:

$$r_{ij}' = \sum_{i=1}^n t_{ij} t_{ij}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(z_{ij} - \bar{z}_j)(z_{ij}' - \bar{z}_{j'})}{s_j s_{j'}}$$

A ACP foi utilizada neste trabalho para uma breve descrição das estruturas relacionais eventualmente presentes em dois conjuntos de dados. A informação de partida a tratar nesta fase, encontra-se configurada em duas matrizes, uma formada por quartzos e outro por feldspatos, com 44 e 88 amostras, respectivamente, de que são conhecidos os teores de 10 elementos químicos referentes às amostras de quartzo: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MgO , P_2O_5 e a Perda ao Rubro (P.R.) e 8 elementos químicos referentes aos feldspatos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MgO .

13.1 Quartzos

Em seguida, apresentam-se os dados originais das amostras dos quartzos estudados e os estatísticos básicos, por grupos de amostras e por elemento químico, assim como os histogramas por elemento químico para cada um dos materiais amostrados.

O quadro 72 seguinte apresenta a designação das amostras e o nome dos respectivos depósitos.

Quadro 72 - Depósitos de quartzo amostrados e respectivas designações

Designação	Nome do depósito amostrado
D	Dornas (Amares)
V	Vila Longa (Sátão)
S	Sr. ^a da Assunção (Sátão)
P	Poço Palheiro (Sátão)
F	Freches (Celorico da Beira)
M	Pedras Pintas (Montemor)

O quadro 73 apresenta os resultados analíticos obtidos para todas as amostras ensaiadas e para todos os elementos químicos determinados.

Quadro 73 - Dados originais relativos às amostras de quartzo ensaiadas

N.º da amostra	Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
1	D1	98,90	0,23	0,19	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,26
2	D2	99,65	0,02	0,14	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,2
3	D3	98,94	0,02	0,27	0,01	0,009	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,16
4	D4	99,35	0,15	0,28	0,02	0,009	0,02	0,01	0,01	0,023	0,04	0,106
5	D5	99,24	0,01	0,32	0,03	0,009	0,05	0,01	0,02	0,028	0,04	0,056
6	D6	99,65	0,01	0,20	0,01	0,009	0,04	0,01	0,02	0,033	0,04	0,006
7	V1	99,46	0,02	0,21	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,34
8	V2	99,59	0,02	0,11	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	0,31
9	V3	98,90	0,23	0,19	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,37
10	V4	99,46	0,22	0,04	0,04	0,03	0,01	0,04	0,01	0,02	0,03	0,15
11	V5	99,79	0,14	0,023	0,014	0,033	0,02	0,003	0,001	0,03	0,04	0,22
12	V6	99,88	0,09	0,017	0,001	0,008	0,01	0,002	0,003	0,02	0,03	0,26
13	V7	99,9	0,06	0,011	0,063	0,008	0,03	0,001	0,002	0,03	0,039	0,29
14	V8	99,76	0,18	0,01	0,001	0,041	0,01	0,003	0,003	0,02	0,038	0,295
15	V9	99,92	0,14	0,01	0,001	0,004	0,01	0,001	0,007	0,02	0,03	0,24
16	V10	99,63	0,26	0,033	0,027	0,048	0,02	0,003	0,002	0,023	0,03	0,307
17	S1	99,56	0,22	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,10	0,02	0,03	0,18
18	S2	99,27	0,22	0,05	0,09	0,03	0,20	0,04	0,01	0,02	0,03	0,18
19	S3	89,70	6,50	0,12	0,20	1,52	1,60	0,01	0,03	0,008	0,09	0,6

N.º da amostra	Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
20	S4	97,80	0,30	0,11	1,00	0,04	0,04	0,02	0,33	0,013	0,06	0,24
21	S5	99,60	0,08	0,02	0,16	0,004	0,012	0,006	0,072	0,003	0,02	0,19
22	S6	96,77	1,30	0,074	0,643	0,312	0,321	0,003	0,187	0,000	0,049	0,302
23	S7	96,63	1,36	0,076	0,758	0,308	0,304	0,012	0,214	0,03	0,05	0,31
24	S8	96,49	1,42	0,078	0,873	0,303	0,286	0,02	0,24	0,07	0,051	0,318
25	P1	98,71	0,02	0,07	0,01	0,008	0,13	0,01	0,02	0,02	0,03	0,61
26	P2	98,72	0,02	0,06	0,01	0,008	0,009	0,01	0,02	0,02	0,03	0,65
27	P3	99,02	0,02	0,07	0,01	0,008	0,12	0,01	0,02	0,02	0,03	0,63
28	P4	99,03	0,02	0,06	0,01	0,008	0,17	0,01	0,02	0,02	0,04	0,54
29	P5	99,04	0,02	0,05	0,01	0,009	0,22	0,01	0,02	0,02	0,05	0,45
30	P6	99,20	0,02	0,05	0,01	0,009	0,232	0,01	0,02	0,02	0,051	0,447
31	P7	99,04	0,02	0,05	0,01	0,009	0,22	0,01	0,02	0,02	0,05	0,45
32	F1	98,76	0,26	0,21	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,79
33	F2	99,37	0,02	0,06	0,01	0,005	0,11	0,01	0,02	0,02	0,04	0,56
34	F3	99,36	0,02	0,08	0,01	0,01	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	0,51
35	F4	99,35	0,02	0,10	0,01	0,014	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,46
36	F5	99,65	0,03	0,035	0,01	0,009	0,035	0,03	0,02	0,02	0,04	0,32
37	F6	99,83	0,10	0,004	0,01	0,008	0,03	0,034	0,02	0,02	0,04	0,216
38	M1	99,33	0,02	0,08	0,01	0,008	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,54
39	M2	99,26	0,02	0,09	0,01	0,009	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,38
40	M3	99,12	0,02	0,09	0,01	0,009	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04	0,43
41	M4	99,28	0,02	0,09	0,01	0,009	0,14	0,01	0,02	0,02	0,02	0,56
42	M5	99,44	0,03	0,09	0,01	0,009	0,25	0,01	0,02	0,02	0,005	0,69
43	M6	99,6	0,02	0,09	0,01	0,009	0,36	0,01	0,02	0,02	0,01	0,82
44	M7	99,76	0,02	0,09	0,01	0,009	0,47	0,01	0,02	0,02	0,01	0,95

No quadro 74 apresentam-se os estatísticos básicos relativos às 44 amostras de quartzo ensaiadas constatando-se que o maior intervalo de valores encontrado está relacionado com os teores de SiO₂ e Al₂O₃, que no primeiro caso atinge cerca de 10 unidades percentuais, enquanto os restantes evidenciam variações bem menores.

Quadro 74 - Estatísticos básicos- quartzo (44 amostras)

Quartzo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
Média	98,925	0,317	0,094	0,097	0,068	0,132	0,013	0,040	0,020	0,037	0,384
Mediana	99,340	0,025	0,077	0,010	0,009	0,040	0,010	0,020	0,020	0,040	0,319
Moda	99,650	0,020	0,090	0,010	0,009	0,010	0,010	0,020	0,020	0,040	0,260
Desvio-padrão	1,631	1,012	0,076	0,238	0,236	0,255	0,010	0,069	0,010	0,015	0,211
Variância amostral	2,659	1,023	0,006	0,056	0,056	0,065	0,000	0,005	0,000	0,000	0,044
Curtose	24,525	34,208	1,392	7,801	34,928	26,443	1,764	8,810	13,942	3,276	0,088
Assimetria	-4,574	5,629	1,360	2,977	5,709	4,714	1,552	3,022	2,616	0,654	0,648
Intervalo	10,220	6,490	0,316	0,999	1,516	1,591	0,039	0,329	0,070	0,085	0,944
Mínimo	89,700	0,010	0,004	0,001	0,004	0,009	0,001	0,001	0,000	0,005	0,006
Máximo	99,920	6,500	0,320	1,000	1,520	1,600	0,040	0,330	0,070	0,090	0,950

Embora exista a consciência que o reduzido número de amostras (em particular se considerarmos a informação relativa a cada depósito), limitam uma interpretação consistente e mais abrangente dos estatísticos básicos, proceder-se-á, neste estudo, a uma breve leitura e análise dos resultados obtidos.

Atender-se-á não só aos dados relativos cada elemento químico (os valores são interpretados de *per se*), mas também aos estatísticos relativos aos depósitos considerados de forma individual. Sempre que conveniente e justificado, procurar-se-á estabelecer, baseado na dualidade dos aspectos elementos químico/depósito, o contraponto entre os diversos jazigos.

Quadro 75- Estatísticos básicos –feldspato: SiO₂ (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo	Totalidade das	Depósitos amostrados e respectivas designações					
Elemento – SiO ₂	amostras	D	V	S	P	F	M
Média	98,925	99,288	99,629	96,978	98,966	99,387	99,399
Mediana	99,340	99,295	99,695	97,285	99,030	99,365	99,330
Moda	99,650	99,650	99,460	N/D	99,040	N/D	N/D
Desvio-padrão	1,6310	0,329	0,308	3,226	0,182	0,364	0,219
Variância amostral	2,6590	0,108	0,095	10,406	0,033	0,132	0,048
Curtose	24,525	-1,945	2,966	4,361	-0,714	1,669	-0,288
Assimetria	-4,5740	-0,052	-1,569	-1,916	-0,675	-0,879	0,646
Intervalo	10,220	0,750	1,020	9,900	0,490	1,070	0,640
Mínimo (S3)	89,700	98,900	98,900	89,700	98,710	98,760	99,120
Máximo (V9)	99,920	99,650	99,920	99,600	99,200	99,830	99,760
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Relativamente à sílica (quadro 75) constata-se que, face à informação disponível, o depósito da Vila Longa (V) evidencia os valores médios mais elevados em SiO₂, apresentando inclusive a amostra com o valor máximo neste elemento (amostra V9).

Em aparente oposição, o depósito da Sr.^a da Assunção (S) apresenta os valores médios mais baixos em SiO₂, revelando igualmente uma grande dispersão dos respectivos teores. Este último facto é testemunhado pelo maior dos desvios padrões apresentado pelo depósito da Sr.^a da Assunção.

A amostra S3 encontra-se claramente identificada como um *outlier*, afastada mais do que 2 desvios padrões em relação à média do próprio depósito onde se insere.

Quadro 76- Estatísticos básicos –feldspato: Al_2O_3 (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – Al_2O_3	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,317	0,073	0,136	1,425	0,020	0,075	0,021
Mediana	0,025	0,020	0,140	0,800	0,020	0,025	0,020
Moda	0,020	0,020	0,020	0,220	0,020	0,020	0,020
Desvio-padrão	1,012	0,094	0,087	2,130	0,000	0,096	0,004
Variância amostral	1,023	0,009	0,008	4,536	0,000	0,009	0,000
Curtose	34,208	-0,092	-1,407	6,304	N/D	3,723	7,000
Assimetria	5,629	1,261	-0,051	2,432	N/D	1,960	2,646
Intervalo	6,490	0,220	0,240	6,420	0,000	0,240	0,010
Mínimo (D5, D6)	0,010	0,010	0,020	0,080	0,020	0,020	0,020
Máximo (S3)	6,500	0,230	0,260	6,500	0,020	0,260	0,030
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Da análise aos estatísticos relativos ao Al_2O_3 (quadro 76) realça-se a enorme diferença verificada entre os valores médios do depósito da Sr.^a da Assunção em relação aos demais depósitos (valores aproximadamente 10 vezes superiores), a sua igualmente elevada dispersão e intervalo de registo.

Uma vez mais o valor da amostra S3 revela-se anómalo quando confrontado com todos os restantes valores. O depósito do Poço Palheiro (P) revela uma elevada homogeneidade das amostras, sendo que o depósito de Dornas (D) é o que apresenta os valores amostrados mais baixos (amostras D5 e D6) relativos ao elemento químico em estudo.

Quadro 77- Estatísticos básicos –feldspato: Fe_2O_3 (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – Fe_2O_3	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,094	0,233	0,065	0,071	0,059	0,082	0,089
Mediana	0,077	0,235	0,028	0,075	0,060	0,070	0,090
Moda	0,090	N/D	0,010	N/D	0,050	N/D	0,090
Desvio-padrão	0,076	0,067	0,077	0,034	0,009	0,071	0,004
Variância amostral	0,006	0,005	0,006	0,001	0,000	0,005	0,000
Curtose	1,392	-1,387	0,132	-0,718	-1,817	2,202	7,000
Assimetria	1,360	-0,127	1,310	0,028	0,353	1,279	-2,646
Intervalo	0,316	0,180	0,200	0,100	0,020	0,206	0,010
Mínimo (F6)	0,004	0,140	0,010	0,020	0,050	0,004	0,080
Máximo (D5)	0,320	0,320	0,210	0,120	0,070	0,210	0,090
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

A observação dos resultados obtidos para o Fe_2O_3 (quadro 77) permite individualizar o depósito de Dornas como sendo não só que apresenta os valores médios mais elevados neste elemento químico, mas também o depósito onde ocorre o valor amostrado mais elevado (amostra D5).

Os depósitos de Vila Longa e Freches são os que evidenciam maiores dispersões amostrais e contraponto ao depósito de Pedras Pintas que revela uma maior homogeneidade dos valores amostrados.

Quadro 78- Estatísticos básicos –feldspato: CaO (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo	Totalidade das	Depósitos amostrados e respectivas designações					
Elemento – CaO	amostras	D	V	S	P	F	M
Média	0,097	0,017	0,019	0,471	0,010	0,010	0,010
Mediana	0,010	0,015	0,012	0,422	0,010	0,010	0,010
Moda	0,010	0,010	0,001	N/D	0,010	0,010	0,010
Desvio-padrão	0,238	0,008	0,020	0,388	0,000	0,000	0,000
Variância amostral	0,056	0,000	0,000	0,151	0,000	0,000	0,000
Curtose	7,801	-0,300	1,619	-2,142	N/D	N/D	N/D
Assimetria	2,977	0,857	1,374	0,189	N/D	N/D	N/D
Intervalo	0,999	0,020	0,062	0,960	0,000	0,000	0,000
Mínimo (V6)	0,001	0,010	0,001	0,040	0,010	0,010	0,010
Máximo (S4)	1,000	0,030	0,063	1,000	0,010	0,010	0,010
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Os estatísticos referentes ao elemento CaO (quadro 78) evidenciam uma relativa similitude entre os diferentes depósitos. Exceptua-se, desta análise, o depósito da Sr^a da Assunção que claramente assume valores substancialmente mais elevados na quase generalidade dos indicadores estatísticos calculados.

Quadro 79- Estatísticos básicos –feldspato: K2O (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo	Totalidade das	Depósitos amostrados e respectivas designações					
Elemento – K₂O	amostras	D	V	S	P	F	M
Média	0,068	0,009	0,021	0,318	0,008	0,011	0,009
Mediana	0,009	0,009	0,015	0,172	0,008	0,010	0,009
Moda	0,009	0,009	0,010	0,030	0,008	N/D	0,009
Desvio-padrão	0,236	0,001	0,016	0,505	0,001	0,005	0,000
Variância amostral	0,056	0,000	0,000	0,255	0,000	0,000	0,000
Curtose	34,928	-1,875	-1,212	6,225	-2,800	0,925	7,000
Assimetria	5,709	0,968	0,602	2,414	0,374	1,021	-2,646
Intervalo	1,516	0,001	0,044	1,516	0,001	0,015	0,001
Mínimo (V9, S5)	0,004	0,009	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008
Máximo (S3)	1,520	0,010	0,048	1,520	0,009	0,020	0,009
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

A análise dos estatísticos referentes ao potássio (quadro 79) revela uma aparente uniformidade de valores entre os diferentes depósitos, destacando-se, uma vez mais, desta homogeneidade o depósito da Sr.^a da Assunção.

Este depósito apresenta não só os valores médios mais elevados na maioria dos estatísticos calculados, mas também os valores extremos consubstanciados nas amostras S5 e S3.

Ainda relativamente ao elemento químico em estudo, a amostra S3 apresenta um valor anómalo em relação aos demais registos (valor cerca de 20 vezes superior à média da totalidade das amostras).

Quadro 80 - Estatísticos básicos –feldspato: Na₂O (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – Na ₂ O	Totalidade das Amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,132	0,032	0,019	0,348	0,157	0,043	0,186
Mediana	0,040	0,030	0,010	0,243	0,170	0,033	0,140
Moda	0,010	0,010	0,010	N/D	0,220	0,010	N/D
Desvio-padrão	0,255	0,021	0,016	0,523	0,079	0,038	0,180
Variância amostral	0,065	0,000	0,000	0,273	0,006	0,001	0,032
Curtose	26,443	-2,150	5,369	6,560	1,067	1,579	-1,164
Assimetria	4,714	0,232	2,254	2,480	-1,132	1,331	0,649
Intervalo	1,591	0,050	0,050	1,588	0,223	0,100	0,460
Mínimo (P2)	0,009	0,010	0,010	0,012	0,009	0,010	0,010
Máximo (S3)	1,600	0,060	0,060	1,600	0,232	0,110	0,470
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Relativamente ao elemento em estudo (quadro 80), poderia quase transcrever-se na totalidade os comentários tecidos em relação à análise anterior e que respeitava ao elemento potássio.

Efectivamente verifica-se que (uma vez mais mas agora em relação ao sódio) o depósito da Sr.^a da Assunção na sua totalidade e a amostra S3 em particular, evidencia um comportamento claramente distinto dos restantes depósitos.

Este depósito apresenta os estatísticos mais elevados, de onde se destacam um valor médio, uma dispersão e um valor máximo substancialmente superiores aos dos estatísticos equivalentes dos restantes depósitos.

Quadro 81 - Estatísticos básicos – feldspato: TiO_2 (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – TiO_2	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,013	0,010	0,008	0,019	0,010	0,024	0,010
Mediana	0,010	0,010	0,003	0,016	0,010	0,025	0,010
Moda	0,010	0,010	0,010	0,040	0,010	0,020	0,010
Desvio-padrão	0,010	0,000	0,012	0,014	0,000	0,009	0,000
Variância amostral	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Curtose	1,764	N/D	7,305	-0,861	N/D	-0,615	N/D
Assimetria	1,552	N/D	2,597	0,756	N/D	-0,604	N/D
Intervalo	0,039	0,000	0,039	0,037	0,000	0,024	0,000
Mínimo (V7, V9)	0,001	0,010	0,001	0,003	0,010	0,010	0,010
Máximo (V4, S1, S2)	0,040	0,010	0,040	0,040	0,010	0,034	0,010
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

A análise dos estatísticos básicos obtidos sobre o TiO_2 (quadro 81), quer em relação à totalidade das amostras quer individualmente em relação aos depósitos amostrados, permite evidenciar o depósito de Freches (F), como sendo aquele que apresenta o maior valor médio, pese embora seja o depósito da Sr.^a da Assunção (S) aquele para o qual se verifica uma maior heterogeneidade (leia-se dispersão) dos valores amostrados.

Ainda relativo a este depósito, constata-se a existência dos maiores valores amostrados (amostras S1 e S2) que apresentam um registo com cerca de 4 vezes o valor médio deste elemento químico. De salientar ainda a ocorrência de uma amostra de valor máximo (V4) no depósito que apresenta o menor valor médio.

Este último facto transforma a amostra V4 num valor anómalo relativamente ao elemento em estudo e quando confrontada com o valor médio do depósito da Vila Longa (a amostra V4 apresenta um valor 5 vezes superior à média do depósito V).

Quadro 82 - Estatísticos básicos – feldspato: MgO (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – MgO	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,040	0,018	0,009	0,148	0,020	0,020	0,020
Mediana	0,020	0,020	0,005	0,144	0,020	0,020	0,020
Moda	0,020	0,020	0,020	N/D	0,020	0,020	0,020
Desvio-padrão	0,069	0,004	0,008	0,112	0,000	0,000	0,000
Variância amostral	0,005	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
Curtose	8,810	6,000	-1,533	-1,069	N/D	N/D	N/D
Assimetria	3,022	-2,449	0,691	0,317	N/D	N/D	N/D
Intervalo	0,329	0,010	0,019	0,320	0,000	0,000	0,000
Mínimo (V5)	0,001	0,010	0,001	0,010	0,020	0,020	0,020
Máximo (S4)	0,330	0,020	0,020	0,330	0,020	0,020	0,020
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Relativamente ao elemento químico em estudo uma primeira evidência é que ressalta da análise ao quadro 82, acima representado, prende-se com a aparente oposição, na quase totalidade dos estatísticos básicos, que se verifica entre os depósitos da Vila Longa (depósito V aquele cujos estatísticos apresentam os menores valores) e o depósito da Sr.^a da Assunção (depósito S aquele cujos estatísticos apresentam os maiores valores). Constata-se ainda que, também relativamente a este elemento, o depósito da Sr.^a da Assunção apresenta não só os valores mais elevados mas também a maior dispersão dos valores amostrados.

Quadro 83 - Estatísticos básicos – feldspato: MnO (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – MnO	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,020	0,021	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020
Mediana	0,020	0,022	0,020	0,017	0,020	0,020	0,020
Moda	0,020	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Desvio-padrão	0,010	0,009	0,007	0,022	0,000	0,000	0,000
Variância amostral	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Curtose	13,942	-1,540	-0,065	3,853	N/D	N/D	N/D
Assimetria	2,616	-0,053	-0,155	1,818	N/D	N/D	N/D
Intervalo	0,070	0,023	0,020	0,070	0,000	0,000	0,000
Mínimo (S6)	0,000	0,010	0,010	0,000	0,020	0,020	0,020
Máximo (S8)	0,070	0,033	0,030	0,070	0,020	0,020	0,020
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Os estatísticos do manganésio (quadro 83) evidenciam uma relativa similitude entre os valores médios dos diferentes depósitos, sendo no entanto de salientar a maior dispersão de valores apresentada pelo depósito da Sr.^a da Assunção. Este depósito apresenta os valores amostrais extremos, consubstanciados nas amostras (S6 e S8).

Quadro 84 - Estatísticos básicos – feldspato: P₂O₅ (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo Elemento – P₂O₅	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,037	0,040	0,038	0,048	0,040	0,040	0,018
Mediana	0,040	0,040	0,039	0,050	0,040	0,040	0,020
Moda	0,040	0,040	0,030	0,030	0,030	0,040	0,020
Desvio-padrão	0,015	0,000	0,009	0,022	0,010	0,000	0,011
Variância amostral	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Curtose	3,276	N/D	3,832	1,151	-2,588	N/D	1,960
Assimetria	0,654	N/D	1,691	0,859	0,014	N/D	1,197
Intervalo	0,085	0,000	0,030	0,070	0,021	0,000	0,035
Mínimo (M5)	0,005	0,040	0,030	0,020	0,030	0,040	0,005
Máximo (S3)	0,090	0,040	0,060	0,090	0,051	0,040	0,040
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

Da observação do quadro dos estatísticos acima representado pode concluir-se que, atendendo à informação disponível e com base nos estatísticos analisados, os depósitos da Sr.^a da Assunção (S) e de Pedras Pintas (M) apresentam comportamentos antagónicos.

Constata-se que, enquanto a generalidade dos estatísticos com valores mais elevados se encontra associado ao depósito da Sr.^a da Assunção, os estatísticos com os valores mais baixos estão relacionados com o depósito de Pedras Pintas.

Uma vez mais cumpre evidenciar o carácter anómalo da amostra S3, já anteriormente referido a propósito de outros elementos, e que para o P₂O₅ apresenta um valor aproximadamente 3 vezes superior à média dos restantes depósitos.

Quadro 85 - Estatísticos básicos – feldspato: P.R. (por grupos de amostras e por elemento químico)

Quartzo P.R.	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações					
		D	V	S	P	F	M
Média	0,384	0,131	0,278	0,290	0,540	0,476	0,624
Mediana	0,319	0,133	0,293	0,271	0,540	0,485	0,560
Moda	0,260	N/D	N/D	0,180	0,450	N/D	N/D
Desvio-padrão	0,211	0,094	0,063	0,138	0,091	0,199	0,207
Variância amostral	0,044	0,009	0,004	0,019	0,008	0,040	0,043
Curtose	0,088	-1,068	0,691	4,098	-2,421	0,350	-0,887
Assimetria	0,648	0,023	-0,707	1,870	0,063	0,386	0,514
Intervalo	0,944	0,254	0,220	0,420	0,203	0,574	0,570
Mínimo (D6)	0,006	0,006	0,150	0,180	0,447	0,216	0,380
Máximo (M7)	0,950	0,260	0,370	0,600	0,650	0,790	0,950
N.º de amostras	44	6	10	8	7	6	7

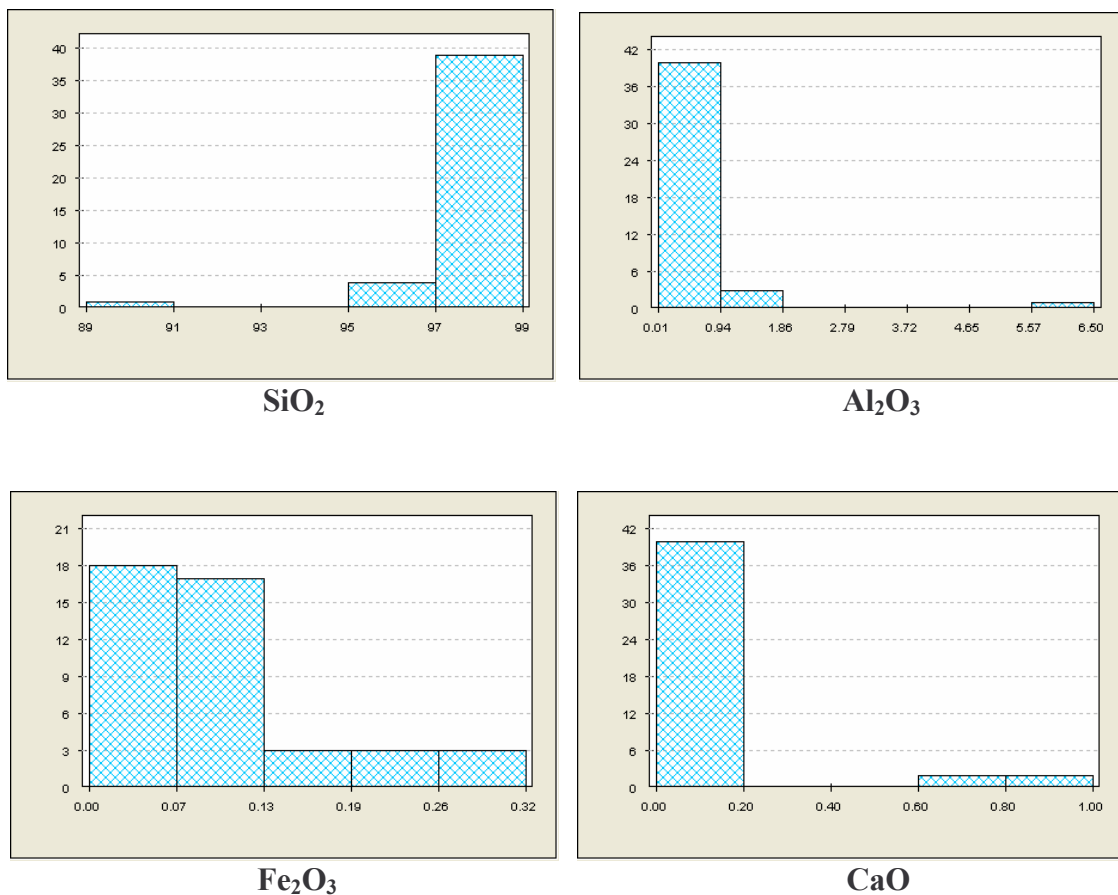
A análise ao quadro dos estatísticos acima representados permite colocar em contraponto os valores relativos ao depósito de Dornas (D) e os relativos ao depósito de Pedras Pintas (M) como sendo aqueles que evidenciam não só os maiores e menores valores médios amostrados, mas também os valores extremos (amostras D6 e M7). O depósito de Pedras Pintas apresenta ainda o maior valor de desvio padrão o que indicia uma maior heterogeneidade dos valores amostrados.

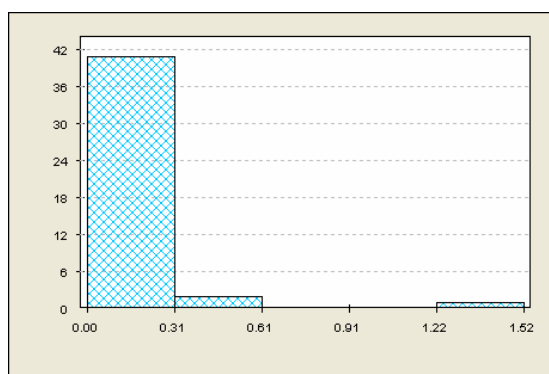
Em jeito de sumário aos comentários e análises atrás efectuadas, poder-se-á afirmar que, face à informação disponível, o depósito da Sr.^a da Assunção apresenta em relação a quase todos os elementos químicos e respectivos estatísticos, uma comportamento marginal (as amostras que apresentam valores anómalos situam-se na sua grande maioria no depósito da Sr.^a da Assunção, em particular a amostra S3 que se revela como um *outlier*

em relação às demais amostras). Das observações anteriores exceptuam-se as análises que envolvem a perda ao rubro P.R. e o ferro Fe_2O_3 .

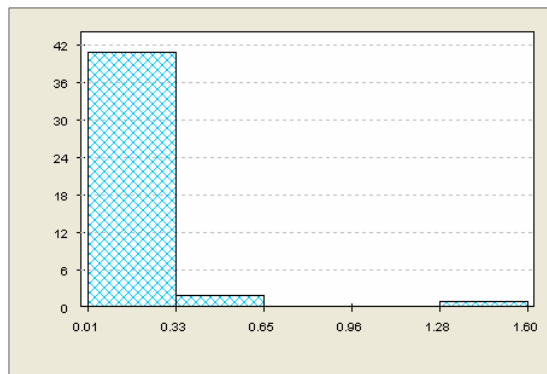
Pela observação do histograma do SiO_2 conclui-se que a grande maioria das amostras exibe teores que se situam entre 97% e 99% e uma pequena percentagem entre 95% e 97%, já que as amostras que se situam no intervalo de teores de limites 89% e 91% quase não tem expressão.

Os restantes elementos ocorrem com valores de teor muito próximos e a situarem-se no mesmo intervalo, com excepção do Fe_2O_3 , do TiO_2 , do MnO e da P. R., que surgem distribuídos pela quase totalidade dos intervalos considerados e em alguns casos com uma expressão significativa, nomeadamente a P. R., como se pode constatar nos histogramas seguintes.

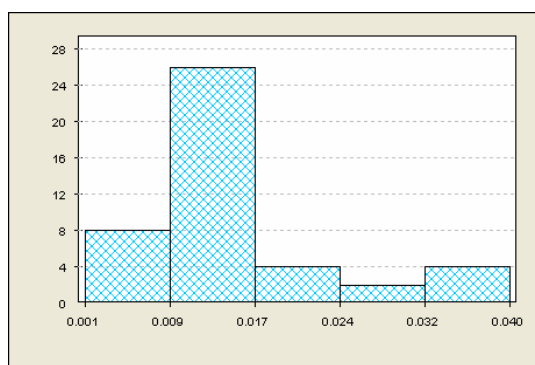




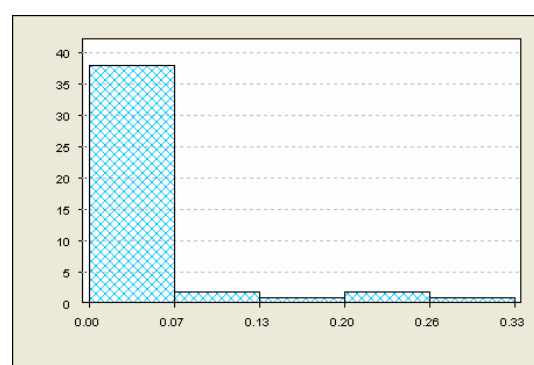
K₂O



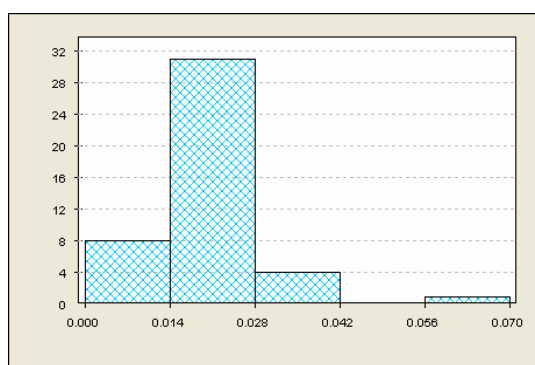
Na₂O



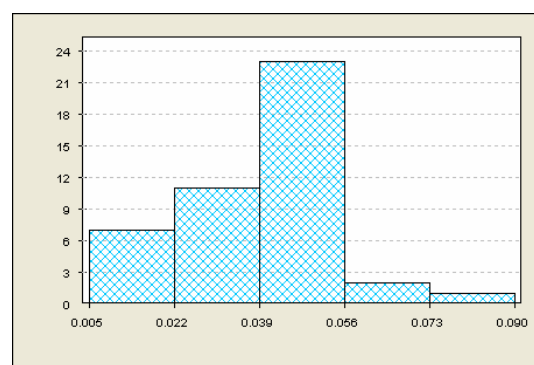
TiO₂



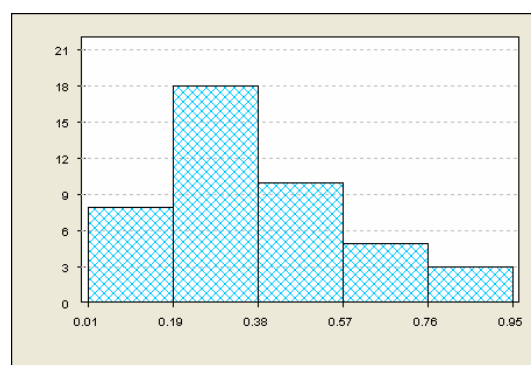
MgO



MnO



P₂O₅



P.R.

A matriz de correlações (Spearman (*trian. sup.*) / Pearson (*trian.inf.*)) está representada no quadro 86, no qual se podem observar fortes correlações negativas entre os pares de variáveis SiO₂ e Al₂O₃, SiO₂ e K₂O, SiO₂ e Na₂O, a fortes correlações positivas entre Al₂O₃ e K₂O, Al₂O₃ e Na₂O, entre CaO e MgO e entre K₂O e Na₂O.

Quadro 86 - Matriz de Correlações - Spearman (*trian. sup.*) / Pearson (*trian.inf.*)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	P.R.
SiO ₂	1.000	-0.192	-0.431	-0.282	-0.280	-0.393	-0.290	-0.599	0.208	-0.427	-0.299
Al ₂ O ₃	-0.963	1.000	-0.208	0.472	0.579	0.073	0.088	0.099	-0.122	0.187	-0.233
Fe ₂ O ₃	-0.101	0.027	1.000	0.103	0.227	0.056	0.208	0.334	-0.151	0.240	0.085
CaO	-0.470	0.333	-0.042	1.000	0.514	0.209	0.222	0.388	0.013	0.276	-0.363
K ₂ O	-0.961	0.998	0.021	0.316	1.000	0.106	0.288	0.205	-0.038	0.428	-0.177
Na ₂ O	-0.871	0.900	-0.018	0.207	0.909	1.000	0.100	0.402	0.012	0.168	0.390
TiO ₂	0.032	-0.031	-0.082	0.066	-0.048	-0.074	1.000	0.398	0.012	0.188	0.017
MgO	-0.373	0.223	-0.029	0.969	0.206	0.110	0.135	1.000	-0.354	0.358	0.185
MnO	0.039	-0.064	-0.039	0.252	-0.068	-0.092	0.100	0.194	1.000	-0.035	-0.156
P ₂ O ₅	-0.659	0.619	0.150	0.387	0.617	0.435	0.012	0.322	0.009	1.000	-0.163
P.R.	-0.147	0.095	-0.159	-0.158	0.110	0.368	-0.142	-0.149	-0.090	-0.261	1.000

Os resultados obtidos no primeiro tratamento efectuado, via ACP, sobre os dados originais do quartzo, encontram-se sintetizados nos quadros seguintes, para os cinco primeiros eixos retidos.

A importância relativa de cada um dos eixos pode ser verificada na coluna da taxa de inércia transportada, sendo que, por exemplo, neste primeiro ensaio os dois principais factores (Factor 1 *versus* Factor 2) explicam no seu conjunto cerca de 60% da variabilidade contida na matriz dos dados. Considera-se que uma variável está relacionada com o eixo sempre que o seu coeficiente de correlação com esse eixo for superior a 0.5 (faz-se notar que as coordenadas das variáveis nos eixos coincidem com o coeficiente de correlação com o eixo, estando portanto contidas no intervalo [-1,+1]).

Quadro 87 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – dados completos)

	Valores Próprios	Taxa de Inércia transportada (%)	Taxa de Inércia transportada acumulada (%)
1	4,569	41,5	41,5
2	2,056	18,7	60,2
3	1,267	11,5	71,7
4	1,000	9,1	80,8
5	0,866	7,9	88,7

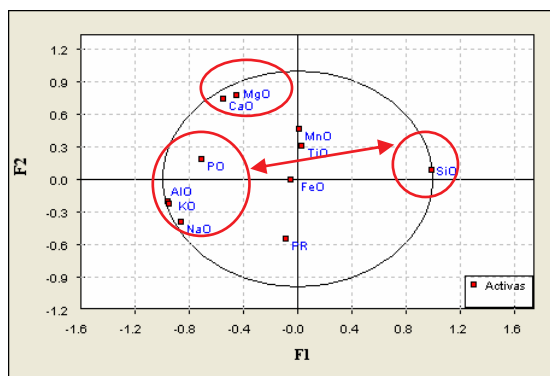
Quadro 88 - Coordenadas das variáveis (Quartzo – dados completos)

Eixos → Variáveis ↓	1	2	3	4	5
SiO ₂	0,983	0,090	0,014	0,002	-0,027
Al ₂ O ₃	-0,957	-0,204	-0,036	0,101	0,042
Fe ₂ O ₃	-0,053	0,003	-0,734	-0,275	0,264
CaO	-0,548	0,746	0,209	-0,240	-0,147
K ₂ O	-0,954	-0,226	-0,03	0,092	0,046
Na ₂ O	-0,866	-0,389	0,153	0,038	0,083
TiO ₂	0,023	0,311	0,088	0,861	0,009
MgO	-0,453	0,782	0,215	-0,215	-0,222
MnO	0,007	0,463	0,231	-0,007	0,839
P ₂ O ₅	-0,714	0,185	-0,393	0,095	-0,025
P.R.	-0,088	-0,539	0,630	-0,226	0,093

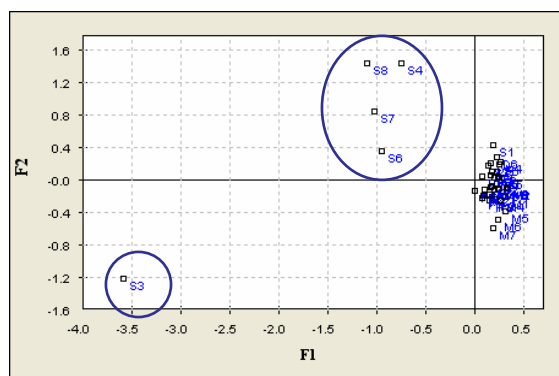
As coordenadas dos indivíduos (Quartzo - dados completos) encontram-se no anexo 9.

Os gráficos resultantes da aplicação da ACP nos diferentes ensaios, bem como as respectivas interpretações, atendem em particular à relação dos eixos com as variáveis, à maneira de como o eixo separa as variáveis (critérios geométricos de proximidade e afastamento) e, quando pertinente, aos aspectos morfológicos da nuvem das projecções das amostras nos planos factoriais. Chama-se à atenção para o facto de que a proximidade das projecções não é por si só critério suficiente para inferir acerca da qualidade da representação, há ainda que assegurar a representatividade da entidade projectada no plano factorial.

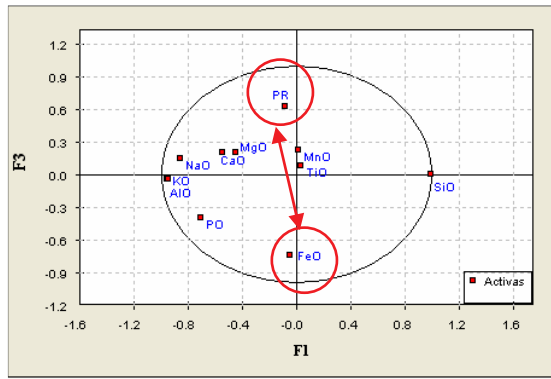
Nos gráficos das figuras seguintes, alíneas a) a h), apresentam-se as projecções das variáveis e das amostras nos diferentes planos factoriais considerados.



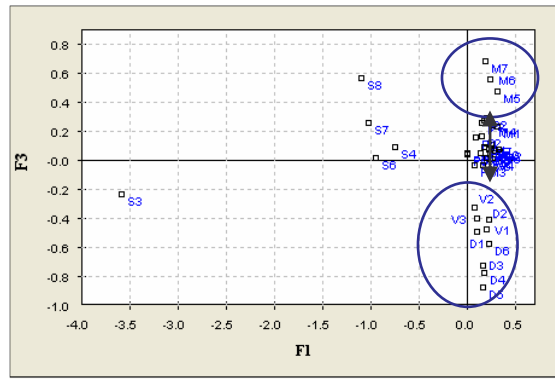
a)



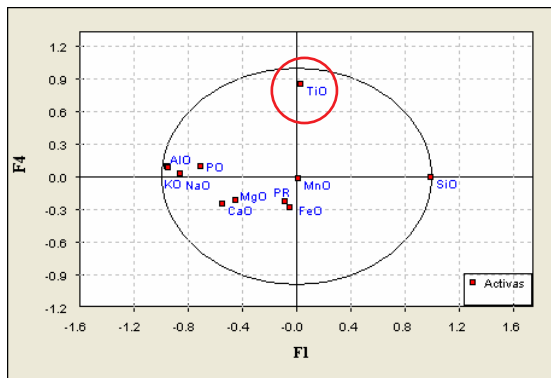
b)



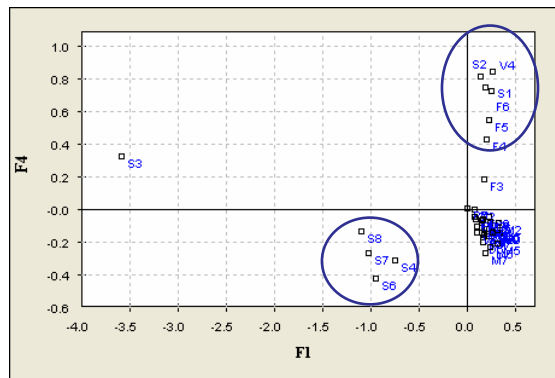
c)



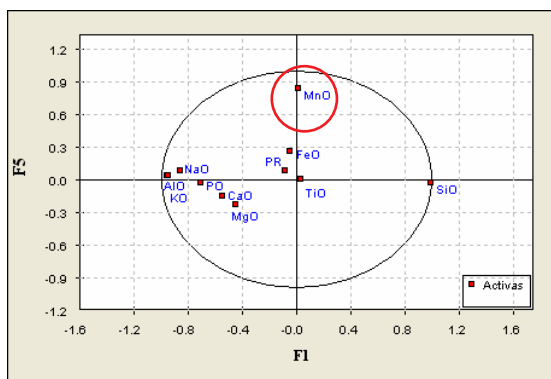
d)



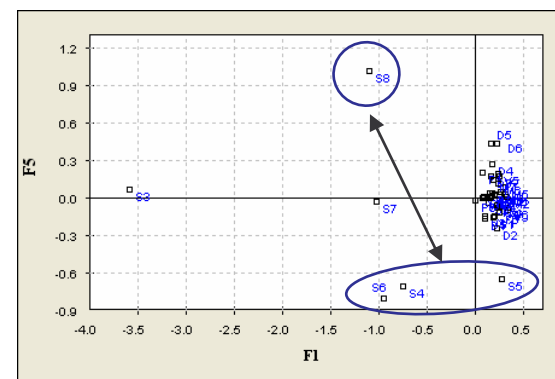
e)



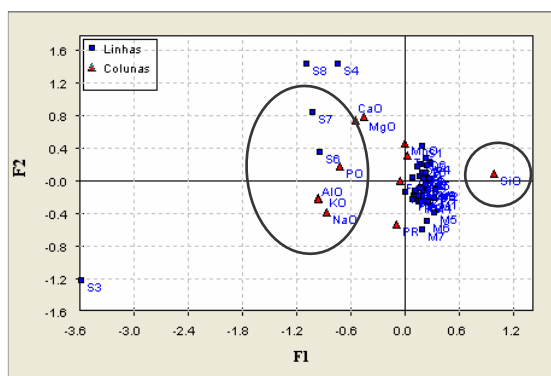
f)



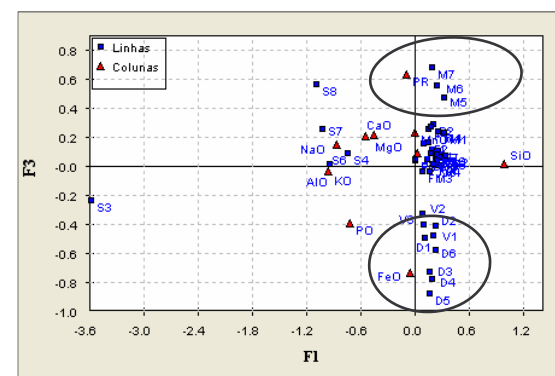
g)



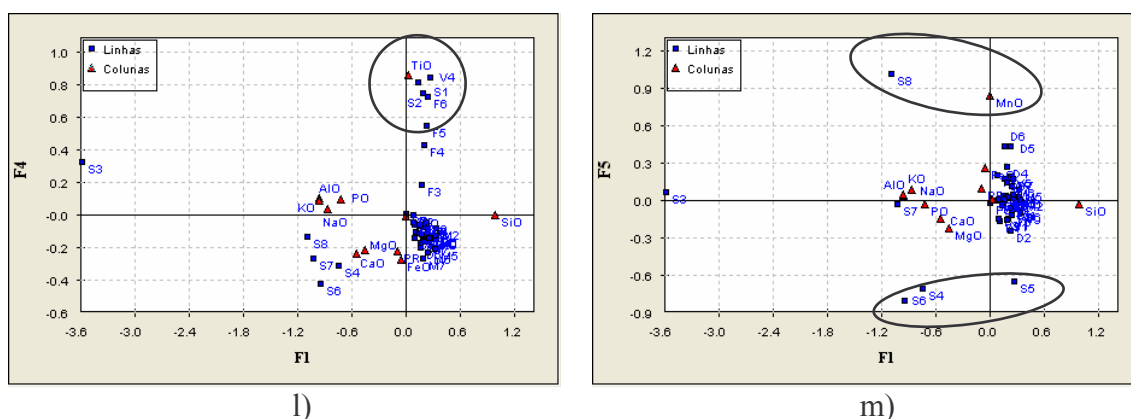
h)



i)



j)



Na figura da alínea a), primeiro plano factorial (Eixo 1 e Eixo2) verifica-se que as variáveis relacionadas com o primeiro eixo são a SiO_2 , semi-eixo positivo e em oposição as variáveis Al_2O_3 , K_2O , Na_2O e P_2O_5 , semi-eixo negativo. Faz-se notar que esta similitude entre as variáveis projectadas no semi-eixo negativo do factor 1 em oposição à variável SiO_2 , representa cerca de 42% (quadro 87) da variabilidade comportamental das variáveis. Ainda neste plano factorial podemos constatar a associação entre as variáveis CaO e MgO , relacionadas com o segundo factor e projectadas no seu semi-eixo positivo (a taxa de inércia transportada pelo eixo 2 representa cerca de 19% da variabilidade total da matriz de dados)

Ainda com algum significado em termos de representatividade da variabilidade total, o eixo 3 (vidé figura da alínea c)), com uma taxa de inércia de 11.5%, é construído com a contribuição de duas variáveis que se opõe claramente. A variável Fe_2O_3 , projectada no semi-eixo negativo encontra-se em oposição à Perda ao Rubro (P.R.) , projectada no semi-eixo positivo.

Os restantes eixos factoriais, eixo 4 e eixo 5, (figuras das alíneas e) e g)) apresentam contribuições marginais para a explicação global da variabilidade da informação de partida. Contudo, pese embora os constrangimentos referidos, uma vez que as variáveis TiO_2 e MgO só se encontram verdadeiramente representadas neste dois últimos eixos, se houver necessidade de aprofundar o conhecimento acerca da relação destas variáveis com as respectivas amostras, este só se poderá efectuar retendo para análise os eixos referidos.

A análise aos planos factoriais onde se projectam somente as amostras (figuras das alíneas b), d) f) e h)), permite uma primeira grande conclusão e que consiste na nítida separação, ao longo do primeiro eixo factorial, que é possível efectuar entre as amostras do depósito da Sr.^a da Assunção e as amostras provenientes dos restantes depósitos (vide figura da alínea b). Paralelamente e ainda relativamente a este eixo verifica-se o carácter perfeitamente anómalo da amostra S3.

O terceiro eixo factorial, figura da alínea d) permite individualizar um conjunto de amostras do depósito de Pedras Pintas em oposição a amostras do depósito de Dornas (uma interpretação conjunta da projecção de amostras e indivíduos permite referenciar este segundo plano factorial (eixo 1 *versus* eixo 3) como aquele em que se verifica uma forte oposição entre a P.R. e o Fe_2O_3 , ou seja, quando diminui a P.R. (amostras M5, M6 e M7) aumenta o teor de Fe_2O_3 (D1, D3, D4, D5, D6 e V1).

As figuras que constam das alíneas i), j), l) e m), construídas com a projecção conjunta das variáveis e amostras, permitem relacionar, uma vez mais com base nos critérios de proximidade e afastamento das projecções, os depósitos estudados com os valores amostrados elevados ou baixos em determinado (s) elemento (s) químico (s).

13.1.1 Coordenadas dos indivíduos (Quartzo – S3 em suplementar)

As particularidades já referidas da amostra S3 e, nomeadamente, o baixo teor em SiO_2 , conduziram à repetição do método colocando essa amostra em suplementar, já que parecia existir alguma distorção dos resultados obtidos devido à respectiva influência deste valor anómalo.

Os quadros 89 e 90 representam a análise em componentes principais e as coordenadas das variáveis, respectivamente, considerando agora a amostra S3 em suplementar.

Quadro 89 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 em suplementar)

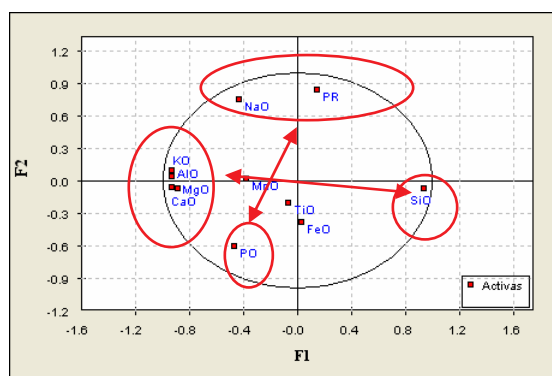
Eixos Factoriais	Valores Próprios	Taxa de Inércia transportada (%)	Taxa de Inércia transportada acumulada (%)
1	4,870	44,3	44,3
2	1,860	16,9	61,2
3	1,120	10,2	71,4
4	0,910	8,2	79,6

Quadro 90 - Coordenadas das variáveis (Quartzo – S3 em suplementar)

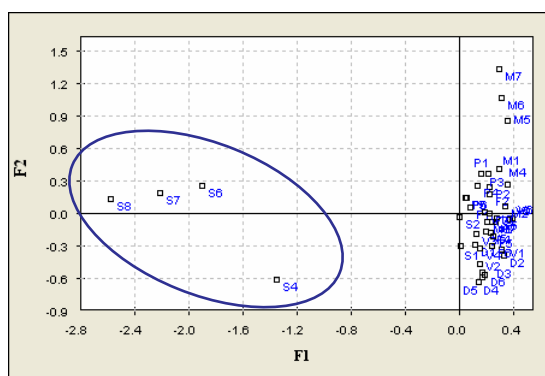
Eixos → Variáveis ↓	1	2	3	4
SiO ₂	0,931	-0,067	-0,169	-0,024
Al ₂ O ₃	-0,938	0,045	-0,016	-0,020
Fe ₂ O ₃	0,024	-0,376	0,634	-0,351
CaO	-0,937	-0,055	-0,011	0,155
K ₂ O	-0,933	0,097	0,012	-0,028
Na ₂ O	-0,432	0,753	0,069	-0,081
TiO ₂	-0,073	-0,204	-0,762	0,014
MgO	-0,890	-0,072	-0,033	0,228
MnO	-0,382	0,023	-0,287	-0,834
P ₂ O ₅	-0,473	-0,603	0,111	0,039
P.R.	0,144	0,848	0,106	0,001

As coordenadas dos indivíduos (Quartzo – S3 em suplementar) encontram-se representadas no anexo 9.

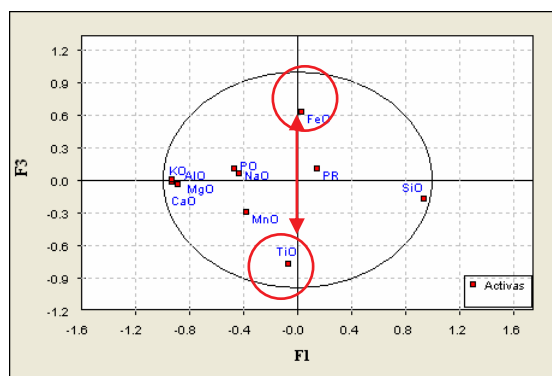
Os gráficos seguintes apresentam as projecções das variáveis e das amostras nos diferentes planos factoriais considerados com a amostra S3 em suplementar.



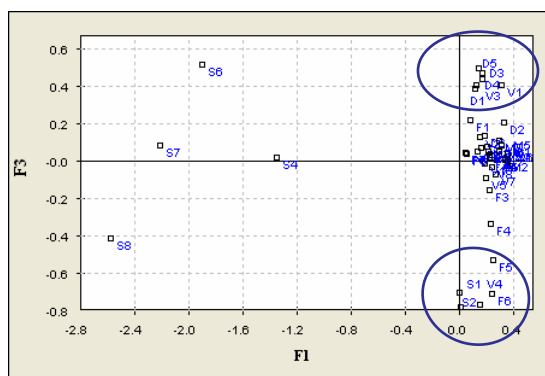
a)



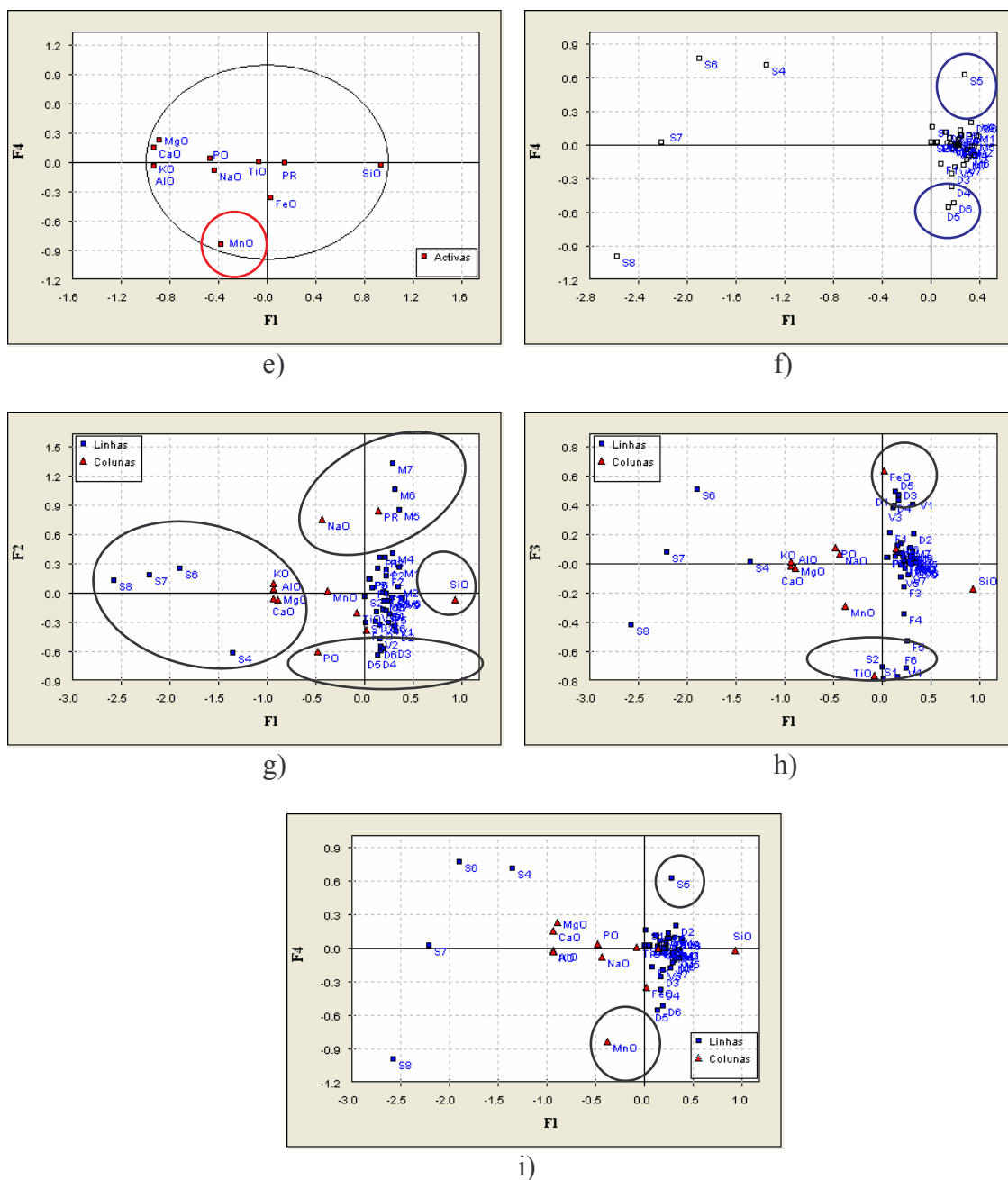
b)



c)



d)



Na figura da alínea a), primeiro plano factorial (Eixo 1 e Eixo 2) verifica-se que as variáveis relacionadas com o 1º eixo são a SiO_2 , semi-eixo positivo e em oposição as variáveis K_2O , Al_2O_3 , MgO e CaO , semi-eixo negativo. As variáveis projectadas no semi-eixo negativo do factor 1 representam cerca de 44% da variabilidade comportamental das variáveis.

No mesmo plano factorial, as variáveis relacionadas com o segundo eixo são Na_2O e P.R., semi-eixo positivo e em oposição a variável P_2O_5 , no semi-eixo negativo. A taxa de

inércia transportada pelo eixo 2 representa cerca de 17% da variabilidade total da matriz de dados.

A análise ao plano factorial onde se projectam apenas as amostras, primeiro eixo factorial, figura da alínea b), permite verificar que as amostras do depósito da Sr.^a da Assunção (S4, S6, S7 e S8) se destacam das amostras dos restantes depósitos.

A interpretação conjunta da projecção de amostras e indivíduos, figurada alínea g), permite referenciar este primeiro plano factorial como sendo o plano no qual se verifica a forte oposição entre o teor de SiO₂ e os teores de K₂O, Al₂O₃, MgO e CaO (amostras S4, S6, S7 e S8), assim como os teores de P₂O₅ (amostras V2, D3, D4, D5 e D6) e Na₂O e P.R. (amostras M5, M6 e M7).

O eixo 3, figura da alínea c), que apresenta menor significado em termos de representatividade da variabilidade total, com uma taxa de inércia de cerca de 10%, é construído com a contribuição das variáveis Fe₂O₃ (semi-eixo positivo) e TiO₂ (semi-eixo negativo), as quais se encontram em clara oposição.

O terceiro eixo factorial onde se projectam as amostras, figura da alínea d), evidencia a oposição entre algumas amostras do depósito de Dornas (D1, D3, D4 e D5) e Vila Longa (V1 e V3) com as amostras dos depósitos de Vila Longa (V4), Sr.^a da Assunção (S1 e S2) e Feches (F5 e F6), também visível na representação conjunta da projecção das amostras e indivíduos, figura da alínea h), na qual é visível a oposição entre as variáveis Fe₂O₃ e TiO₂, ou seja, quando diminui o teor em Fe₂O₃ aumenta o teor em TiO₂, das amostras já referidas.

O quarto eixo factorial, figura da alínea e), no qual aparece representada a variável MnO, apresenta uma contribuição marginal para a explicação global da variabilidade da informação de partida, com uma taxa de inércia transportada de cerca de 8%.

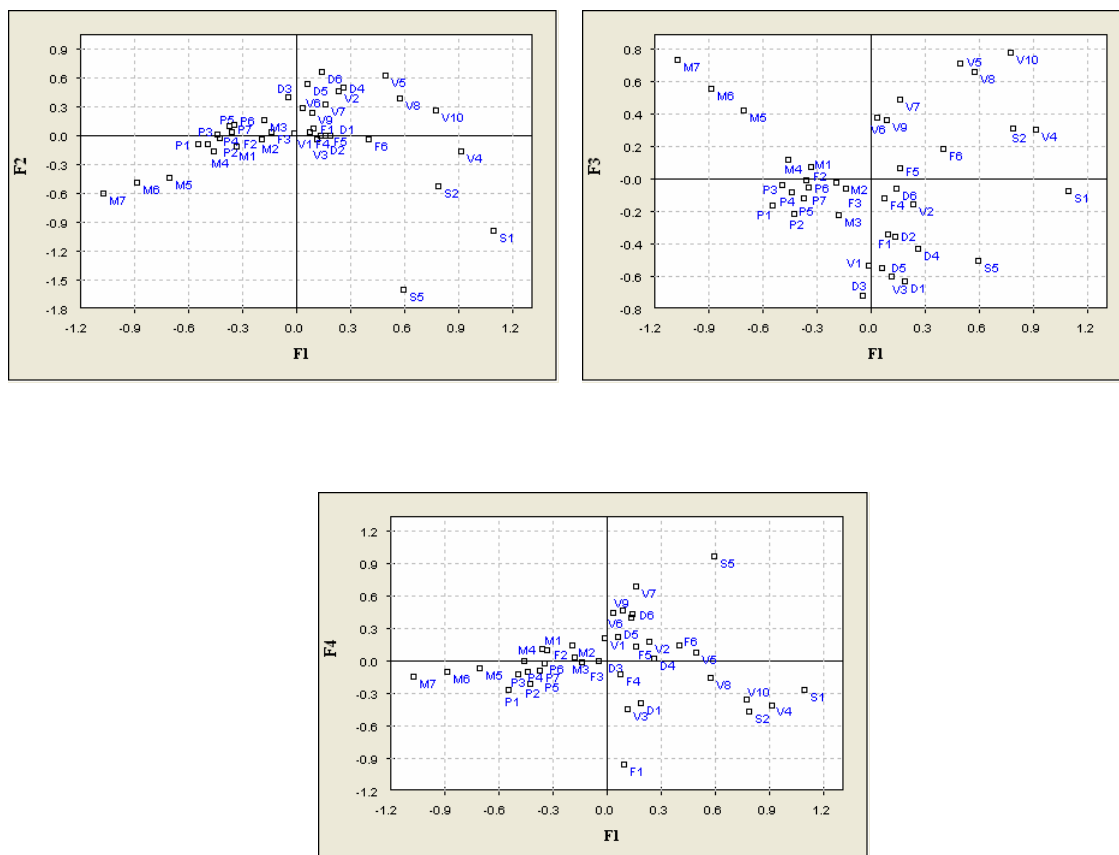
No mesmo plano factorial (eixo 4), figura da alínea f), é visível a oposição entre as amostras D4, D5 e D6 (do depósito de Dornas) e a amostra S5 (do depósito da Sr.^a da Assunção), sendo que S5 apresenta o teor em MnO substancialmente menor que os das amostras de Dornas referenciados.

No quarto plano factorial (representação conjunta de amostras e indivíduos), figura da alínea i), é visível a amostra do depósito da Sr.^a da Assunção (S5) como sendo, de todas as amostras analisadas, aquela que representa o menor teor em MnO

13.1.2 Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3, S8, S7, S6 e S4 em suplementar)

Dado que em todos os planos factoriais considerados as amostras S4, S6, S7 e S8 (do depósito da Sr.^a da Assunção) apresentaram um comportamento claramente distinto das restantes, entendeu-se continuar esta análise considerando as referidas amostras em suplementar para avaliar a influência das mesmas na análise efectuada.

A representação das restantes amostras no primeiro, segundo e terceiro planos factoriais já evidencia uma certa dispersão ao longo dos respectivos eixos factoriais, tal como se pode observar nas figuras seguintes.



13.1.3 Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 e MnO em suplementar)

O quadro 91 apresenta os eixos factoriais, os valores próprios, a taxa de inércia transportada e a taxa de inércia transportada acumulada referente aos dados do quartzo com S3 e MnO em suplementar, e o quadro 92 indica as coordenadas das variáveis, referentes aos dados do quartzo com S3 e MnO em suplementar.

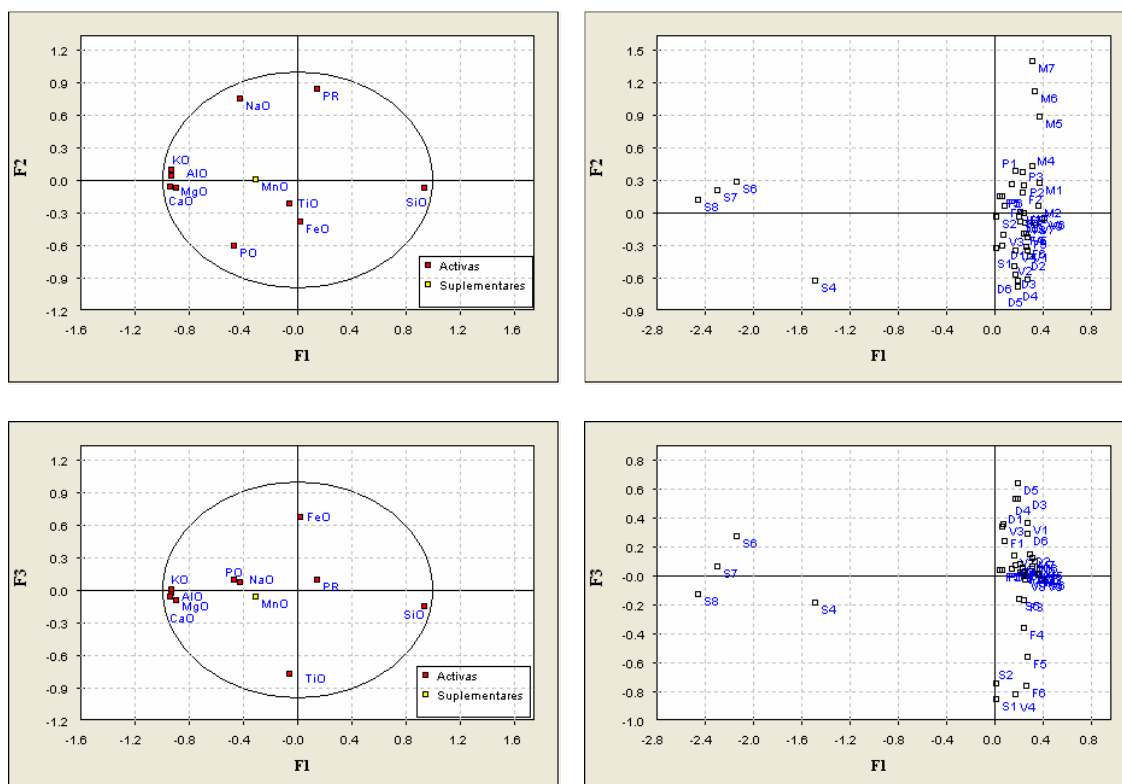
Quadro 91 - Análise em Componentes Principais (Quartzo – S3 e MnO em suplementar)

Eixos Factoriais	Valores Próprios	Taxa de Inércia transportada (%)	Taxa de Inércia transportada acumulada(%)
1	4,748	47,478	47,478
2	1,857	18,568	66,045
3	1,106	11,059	77,104
4	0,852	8,519	85,624

Quadro 92 – Coordenadas das variáveis (Quartzo – S3 e MnO em suplementar)

	Eixos →	1	2	3	4
Variáveis ↓					
SiO	0,936	-0,070	-0,145	0,131	
AlO	-0,935	0,046	-0,017	0,073	
FeO	0,021	-0,375	0,674	-0,623	
CaO	-0,942	-0,052	-0,052	0,020	
KO	-0,930	0,099	0,014	0,105	
NaO	-0,430	0,754	0,073	-0,169	
TiO	-0,066	-0,206	-0,770	-0,590	
MgO	-0,900	-0,068	-0,094	-0,052	
PO	-0,475	-0,602	0,103	0,116	
PR	0,143	0,848	0,096	-0,195	

Os gráficos seguintes apresentam as projecções das variáveis e amostras no primeiro e segundo plano factoriais (com taxas de inércia da ordem dos 48% e 19%), respectivamente, considerando a amostra S3 e a variável MnO em suplementar.



A análise das figuras anteriores comprova a interpretação já efectuada e vem confirmar as oposições verificadas entre o teor de SiO_2 e os teores de K_2O , Al_2O_3 , MgO e CaO , e entre os teores de P_2O_5 e Na_2O e P.R., assim como entre as variáveis Fe_2O_3 e TiO_2 .

13.2 Feldspatos

No quadro 93 apresentam-se os depósitos de feldspato e a designação atribuída às respectivas amostras na análise em componentes principais que se apresenta.

Quadro 93- Depósitos de feldspato amostrados e respectivas designações

Designação	Nome do depósito amostrado
V	Atalaia (Vilar Formoso)
F	Lixa (Amarante)
G	Vila Longa (Sátão)
S	Aldeia Nova (Sátão)
M	Lavre (Montemor)
C	Casal de Cinza (Gouveia)
A	Argemela (Fundão)

Os dados originais correspondentes às 88 amostras de feldspatos analisadas estão representados no quadro 94.

Quadro 94- Dados originais – Feldspato

N.º da amostra	Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
1	V1	74,8	15,8	2,16	0,03	2,86	0,00	0,12	0,23
2	V2	75,5	15,6	1,87	0,03	2,5	0,00	0,13	0,21
3	V3	76,00	14,9	1,99	0,03	2,25	0,00	0,12	0,18
4	V4	74,9	15,3	2,45	0,03	2,66	0,00	0,13	0,21
5	V5	75,7	14,6	2,2	0,11	4,3	0,13	0,13	0,31
6	F1	72,04	15,26	0,54	0,68	3,74	4,74	0,12	0,06
7	F2	72,29	15,12	0,68	0,42	4,51	4,05	0,12	0,06
8	F11	73,44	19,24	0,91	0,26	3,72	1,61	0,12	0,06
9	F12	71,62	19,34	0,31	0,3	3,71	4,34	0,12	0,06
10	F13	68,55	21,38	0,47	0,25	4,14	3,93	0,12	0,06
11	F14	68,6	22,25	0,9	0,22	4,27	1,97	0,12	0,06
12	F15	68,96	21,77	0,38	0,28	3,97	3,92	0,12	0,06
13	F16	70,06	19,6	0,55	0,24	3,71	4,06	0,12	0,06
14	F17	71,56	19,76	0,68	0,23	4,07	2,62	0,12	0,06
15	F18	76,5	14,1	0,6	0,31	4,22	3,4	0,12	0,06
16	F19	75,3	14,5	0,73	0,17	3,85	2,71	0,12	0,06
17	F20	72,9	15,6	0,73	0,17	4,23	2,19	0,12	0,06
18	F21	75,5	14,00	0,76	0,24	4,3	2,75	0,12	0,06
19	F22	75,5	14,11	0,72	0,31	4,22	3,29	0,12	0,06
20	F23	76,5	13,00	0,8	0,24	4,73	2,62	0,12	0,06
21	F24	74,4	14,4	0,9	0,26	4,24	3,23	0,12	0,06
22	G1	78,74	13,59	0,57	0,23	3,67	2,85	0,00	0,00
23	G2	70,52	19,28	0,5	0,29	1,79	7,23	0,00	0,00
24	G3	76,86	14,1	0,55	0,27	2,15	5,23	0,00	0,00
25	G4	74,15	17,32	0,56	0,22	3,8	2,7	0,00	0,00
26	G5	77,63	13,45	0,62	0,21	4,1	3,15	0,00	0,00
27	G6	76,32	13,86	0,6	0,22	3,2	3,53	0,00	0,00
28	G7	75,19	16,31	0,55	0,25	2,4	4,22	0,00	0,00
29	S1	73,25	17,11	1,55	0,4	3,12	4,11	0,05	0,02
30	S2	70,83	17,00	2,35	0,83	1,41	6,8	0,09	0,31
31	S3	73,44	17,27	0,48	0,29	1,32	6,55	0,19	0,07
32	S4	75,67	16,13	0,32	0,22	1,08	0,17	0,06	0,001
33	S5	75,04	15,45	0,62	0,64	1,42	6,02	0,06	0,35
34	S6	84,15	10,21	0,58	0,61	2,79	0,15	0,001	1,11
35	S7	73,16	16,75	0,57	0,53	1,45	6,96	0,001	0,19
36	S8	73,71	16,53	0,48	0,42	1,48	6,81	0,02	0,14
37	S9	74,06	14,62	1,69	0,54	4,89	3,24	0,14	0,41
38	M1	77,66	14,6	0,58	0,3	1,93	4,38	0,11	0,04
39	M2	75,54	14,25	1,68	0,46	3,87	3,28	0,2	0,31

N.º da amostra	Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
40	M3	74,16	16,74	0,47	0,33	1,61	6,19	0,06	0,04
41	M4	75,29	15,32	0,82	0,32	4,28	3,15	0,22	0,21
42	M5	74,3	15,56	1,01	0,45	3,32	4,8	0,08	0,08
43	M6	70,68	16,87	1,36	0,41	6,59	3,21	0,2	0,3
44	M7	75,67	14,92	0,72	0,3	3,96	3,58	0,24	0,21
45	M8	79,06	13,07	0,47	0,28	1,22	5,2	0,24	0,07
46	M9	75,31	14,33	0,61	0,45	4,32	4,3	0,14	0,14
47	M10	74,76	16,81	0,59	0,32	1,64	5,28	0,08	0,13
48	M11	74,27	15,6	0,52	0,29	5,03	3,85	0,02	0,02
49	M12	69,25	19,4	0,31	0,41	1,65	8,66	0,001	0,001
50	M13	75,05	16,31	0,49	0,2	1,36	6,28	0,01	0,001
51	M14	69,99	19,17	0,1	0,34	1,31	8,82	0,001	0,001
52	M15	79,64	12,63	0,46	0,25	1,75	4,74	0,03	0,09
53	M16	79,6	12,91	0,51	0,3	2,23	4,09	0,001	0,001
54	M17	73,63	16,74	0,13	0,47	1,32	7,2	0,14	0,001
55	M18	79,8	13	0,69	0,28	2,5	3,3	0,04	0,001
56	M19	64,4	23,8	1,05	0,34	3,53	3,66	0,09	0,37
57	M20	64,2	22,8	1,24	0,39	6,01	2,16	0,19	0,5
58	C1	81,54	12,54	0,64	0,06	2,44	2,42	0,5	0,001
59	C2	73,39	17,01	0,27	0,18	0,6	8,12	0,06	0,001
60	C3	74,39	16,03	0,55	0,36	1,21	6,92	0,11	0,02
61	C4	75,22	15,36	0,65	0,58	1,6	6,09	0,07	0,02
62	C5	69,77	18,01	0,87	1,48	2,47	6,84	0,04	0,12
63	C7	65,21	20,31	1,15	1,77	2,97	7,83	0,09	0,26
64	C8	66,63	20,34	1,07	0,8	1,88	8,59	0,1	0,19
65	C9	73,14	16,37	1,84	0,4	1,12	6,61	0,02	0,1
66	C10	79,35	13,29	0,73	0,34	1,81	4,08	0,001	0,001
67	C11	78,64	13,38	0,34	0,21	2,07	4,64	0,28	0,04
68	C12	78,18	14,25	0,4	0,12	0,92	5,54	0,2	0,001
69	C13	77,06	14,99	0,18	0,06	1,48	5,59	0,22	0,01
70	C14	66,69	19,72	0,87	0,23	10,01	1,95	0,04	0,1
71	C15	73,69	15,53	0,75	0,23	6,37	2,78	0,15	0,001
72	C16	76,52	14,49	0,53	0,36	1,33	6,19	0,17	0,01
73	A1	68,55	18,12	0,37	0,28	2,99	5,55	0,04	0,01
74	A2	67,5	18,95	0,22	0,11	2,79	5,11	0,04	0,01
75	A3	68,55	18,16	0,23	0,4	2,82	5,48	0,04	0,01
76	A4	66,91	19,08	0,19	0,07	3,01	5,98	0,04	0,09
77	A5	68,76	17,99	1,01	0,14	3,53	4,29	0,04	0,01
78	A6	69,72	18,01	0,24	0,1	2,25	5,87	0,04	0,1
79	A7	65,83	19,63	0,23	0,2	2,79	5,62	0,04	0,04
80	A8	68,71	18,07	0,24	0,08	2,64	5,53	0,04	0,01
81	A9	68,63	18,47	0,32	0,11	2,28	5,8	0,04	0,06
82	A10	68,46	18,65	0,38	0,08	2,33	5,92	0,04	0,04
83	A11	68,61	18,31	0,26	0,17	2,54	5,85	0,04	0,1
84	A12	69,59	17,32	0,69	0,13	3,01	4,65	0,04	0,03

N.º da amostra	Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
85	A13	70,49	16,86	0,87	0,07	3,08	4,2	0,04	0,1
86	A14	68,26	18,27	0,25	0,09	2,71	5,96	0,04	0,01
87	A15	70,3	17,09	0,31	0,87	2,85	3,95	0,04	0,3
88	A16	69,16	17,97	0,5	0,09	3,17	4,68	0,04	0,07

No quadro 95 apresentam-se os estatísticos básicos relativos às 88 amostras de feldspato ensaiadas constatando-se que os maiores intervalos de valor encontrados estão relacionados com os teores de SiO₂ e Al₂O₃, cerca de 20 e 14 unidades percentuais, respectivamente, enquanto os restantes evidenciam variações bem menores.

Quadro 95- Estatísticos básicos – Feldspato (88 amostras)

Feldspatos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
Média	73,103	16,546	0,737	0,319	2,986	4,387	0,090	0,103
Mediana	73,700	16,340	0,585	0,275	2,805	4,295	0,080	0,060
Moda	75,500	15,600	0,550	0,030	2,790	0,000	0,040	0,060
Desvio-padrão	4,114	2,584	0,521	0,268	1,483	2,082	0,080	0,154
Variância da amostra	16,927	6,677	0,272	0,072	2,199	4,335	0,006	0,024
Curtose	-0,368	0,051	2,443	12,708	4,749	-0,134	6,632	20,398
Assimetria	-0,028	0,417	1,672	3,005	1,454	-0,206	1,831	3,736
Intervalo	19,950	13,590	2,350	1,740	9,410	8,820	0,500	1,110
Mínimo	64,200	10,210	0,100	0,030	0,600	0,000	0,000	0,000
Máximo	84,150	23,800	2,450	1,770	10,010	8,820	0,500	1,110

O procedimento aplicado às amostras de quartzo repetiu-se para as amostras de feldspato e, como tal, foram analisados os dados relativos a cada elemento químico, assim como os estatísticos relativos aos depósitos considerados de forma individual, pelo que será estabelecido sempre que conveniente o contraponto entre os diversos jazigos, baseado na dualidade dos aspectos químicos/depósito.

Apresentam-se no quadro 96 os estatísticos básicos do SiO₂ por grupo de amostras e verifica-se que existem variações de algum modo significativas relativamente à média e ao desvio-padrão, mas mais acentuadamente entre o valores máximo e mínimo encontrados, designadamente nas amostras S6 (Sr.^a da Assunção) e M20 (Vale da Moura), respectivamente.

Constata-se que os valores médios mais elevados se encontram no depósito de Vila Longa, a que se opõe o depósito do Fundão com os valores mais baixos. A maior dispersão

dos teores em SiO₂ surge associada ao depósito de Casal de Cinzas, sendo notória uma maior homogeneidade dos teores deste elemento no depósito de Vilar Formoso.

Quadro 96 - Estatísticos básicos – feldspato: SiO₂ (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos – SiO ₂	Totalidade das amostras	V	F	G	S	M	C	A
Média	73,103	75,380	72,733	75,630	74,812	74,113	73,961	68,627
Mediana	73,700	75,500	72,595	76,320	73,710	74,905	74,390	68,620
Moda	75,500	N/D	76,500	N/D	N/D	N/D	N/D	68,550
Desvio-padrão	4,114	0,517	2,743	2,713	3,753	4,495	4,971	1,181
Variância amostral	16,927	0,267	7,523	7,360	14,084	20,209	24,709	1,394
Curtose	-0,368	-2,307	-1,197	1,482	6,060	0,565	-0,721	1,096
Assimetria	-0,028	-0,099	-0,180	-1,128	2,247	-0,915	-0,473	-0,690
Intervalo	19,950	1,200	7,950	8,220	13,320	15,600	16,330	4,660
Mínimo (M20)	64,200	74,800	68,550	70,520	70,830	64,200	65,210	65,830
Máximo (S6)	84,150	76,000	76,500	78,740	84,150	79,800	81,540	70,490
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Os estatísticos básicos relativos ao Al₂O₃ (quadro 97) permitem verificar a pouca variabilidade da média dos teores deste elemento no universo dos depósitos estudados. Contudo, verifica-se uma elevada dispersão dos teores de Al₂O₃ nas amostras do depósito de Vale da Moura, no qual se regista o valor de intervalo mais elevado e também o valor máximo encontrado (amostra M19). O valor mínimo regista-se no depósito da Sr.^a da Assunção (amostra S6).

Quadro 97- Estatísticos básicos – feldspato: Al₂O₃ (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – Al ₂ O ₃	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	16,546	15,240	17,089	15,416	15,674	16,242	16,108	18,184
Mediana	16,340	15,300	15,430	14,100	16,530	15,580	15,530	18,140
Moda	15,600	N/D	N/D	N/D	N/D	16,740	N/D	N/D
Desvio-padrão	2,584	0,493	3,241	2,262	2,222	3,064	2,528	0,713
Variância amostral	6,677	0,243	10,502	5,118	4,935	9,390	6,389	0,509
Curtose	0,051	-1,728	-1,610	-0,560	5,420	1,240	-0,760	0,327
Assimetria	0,417	-0,275	0,381	0,919	-2,243	1,216	0,531	0,002
Intervalo	13,590	1,200	9,250	5,830	7,060	11,170	7,800	2,770
Mínimo (S6)	10,210	14,600	13,000	13,450	10,210	12,630	12,540	16,860
Máximo (M19)	23,800	15,800	22,250	19,280	17,270	23,800	20,340	19,630
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Da observação do quadro 98, o qual reflecte o comportamento do teor em ferro, realça-se o depósito de Vilar Formoso que exhibe um valor médio de teor em Fe₂O₃ bem mais elevado que o dos restantes depósitos e no qual se encontra o valor mais alto

detectado (amostra V4). A análise destaca ainda a amostra M14, do depósito de Vale da Moura, com o menor dos valores de teor em ferro detectado.

Como seria de esperar, pela análise macroscópica das amostras, o depósito do Fundão apresenta o mais baixo valor entre os teores médios encontrados. A maior heterogeneidade dos teores em ferro surge no depósito da Sr.^a da Assunção, o que não constitui surpresa pela contaminação evidenciada no exame macroscópico das amostras daquele depósito.

Sendo o teor em Fe_2O_3 uma das características mais limitadoras sob o ponto de vista da aplicação industrial dos feldspatos, a análise dos dados permite concluir que a generalidade das amostras apresenta teores em ferro compatíveis com a maioria das aplicações, à excepção das amostras do depósito de Vilar Formoso, cuja média é demasiado alta mesmo tendo em conta a possibilidade de utilização de processos de beneficiação.

Quadro 98- Estatísticos básicos –feldspato: Fe_2O_3 (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – Fe_2O_3	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	0,737	2,134	0,666	0,564	0,960	0,691	0,723	0,394
Mediana	0,585	2,160	0,700	0,560	0,580	0,585	0,650	0,285
Moda	0,550	N/D	0,680	0,550	0,480	0,470	0,870	0,230
Desvio-padrão	0,521	0,221	0,180	0,039	0,716	0,402	0,416	0,249
Variância amostral	0,272	0,049	0,033	0,001	0,512	0,161	0,173	0,062
Curtose	2,443	0,010	-0,442	0,533	-0,004	0,705	2,717	1,700
Assimetria	1,672	0,404	-0,470	-0,213	1,160	0,923	1,333	1,635
Intervalo	2,350	0,580	0,600	0,120	2,030	1,580	1,660	0,820
Mínimo (M14)	0,100	1,870	0,310	0,500	0,320	0,100	0,180	0,190
Máximo (V4)	2,450	2,450	0,910	0,620	2,350	1,680	1,840	1,010
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

A análise dos estatísticos relativos ao CaO (quadro 99) revela maior dispersão no depósito de Vila Longa e valores mais elevados da média dos teores no jazigo da Sr.^a da Assunção, a que se opõem as amostras de Vilar Formoso com o menor valor médio e o mínimo (amostras V1, V2, V3 e V4) detectados. O valor máximo em CaO encontra-se no depósito de Casal de Cinzas (amostra C7).

Quadro 99 Estatísticos básicos –feldspato:CaO (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – CaO	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	0,319	0,046	0,286	0,241	0,498	0,345	0,479	0,187
Mediana	0,275	0,030	0,255	0,230	0,530	0,325	0,340	0,110
Moda	0,030	0,030	0,240	0,220	N/D	0,300	0,060	0,110
Desvio-padrão	0,268	0,036	0,121	0,030	0,188	0,076	0,507	0,202
Variância amostral	0,072	0,001	0,015	0,001	0,035	0,006	0,257	0,041
Curtose	12,708	5,000	7,978	-0,799	-0,108	-0,791	2,701	9,384
Assimetria	3,005	2,236	2,587	0,770	0,225	0,220	1,841	2,937
Intervalo	1,740	0,080	0,510	0,080	0,610	0,270	1,710	0,800
Mínimo (V1, V2, V3, V4)	0,030	0,030	0,170	0,210	0,220	0,200	0,060	0,070
Máximo (C7)	1,770	0,110	0,680	0,290	0,830	0,470	1,770	0,870
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Os estatísticos referentes ao elemento K₂O (quadro 100) não evidenciam variações significativas em termos globais, à excepção do jazigo de Amarante que apresenta a média dos teores em potássio mais elevada e a menor dispersão dos teores, denotando uma elevada homogeneidade.

Assinala-se, contudo, uma elevada dispersão dos teores do elemento em estudo associada ao depósito de Casal de Cinzas, no qual se encontram o menor e o maior dos valores em K₂O detectados, e consequentemente o maior dos intervalos verificados.

Quadro 100 - Estatísticos básicos –feldspato: K₂O (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – K₂O	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	2,986	2,914	4,102	3,016	2,107	2,972	2,552	2,799
Mediana	2,805	2,660	4,180	3,200	1,450	2,365	1,810	2,805
Moda	2,790	N/D	3,710	N/D	N/D	N/D	N/D	2,790
Desvio-padrão	1,483	0,806	0,301	0,902	1,260	1,657	2,471	0,344
Variância amostral	2,199	0,650	0,091	0,814	1,587	2,747	6,107	0,118
Curtose	4,749	3,586	-0,352	-1,943	2,192	-0,406	6,072	0,102
Assimetria	1,454	1,814	0,264	-0,216	1,621	0,789	2,450	0,108
Intervalo	9,410	2,050	1,020	2,310	3,810	5,370	9,410	1,280
Mínimo (C2)	0,600	2,250	3,710	1,790	1,080	1,220	0,600	2,250
Máximo (C14)	10,010	4,300	4,730	4,100	4,890	6,590	10,010	3,530
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

A análise dos estatísticos referentes ao sódio (quadro 101) revela um comportamento do depósito de Vilar Formoso claramente distinto dos restantes, e em particular, as amostras V1, V2, V3 e V4 que apresentam o valor mínimo de teor em sódio, contrariamente ao depósito de vale da Moura onde se verifica o valor máximo encontrado (amostra M14).

A maior heterogeneidade encontra-se no depósito da Sr.^a da Assunção, muito embora o valor médio em Na₂O se situe próximo do valor mais elevado verificado nas amostras colhidas em Casal de Cinza.

Quadro 101 - Estatísticos básicos – feldspato: Na₂O (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – Na ₂ O	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	4,387	0,026	3,214	4,130	4,534	4,807	5,613	5,278
Mediana	4,295	0,000	3,260	3,530	6,020	4,340	6,090	5,540
Moda	0,000	0,000	2,620	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Desvio-padrão	2,082	0,058	0,909	1,624	2,797	1,817	2,066	0,697
Variância amostral	4,335	0,003	0,827	2,639	7,824	3,302	4,269	0,487
Curtose	-0,134	5,000	-0,939	1,419	-0,877	0,437	-0,735	-0,910
Assimetria	-0,206	2,236	-0,090	1,358	-0,885	1,001	-0,472	-0,778
Intervalo	8,820	0,130	3,130	4,530	6,810	6,660	6,640	2,030
Mínimo (V1, V2, V3, V4)	0,000	0,000	1,610	2,700	0,150	2,160	1,950	3,950
Máximo (M14)	8,820	0,130	4,740	7,230	6,960	8,820	8,590	5,980
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Da observação do quadro 102, dos estatísticos do TiO₂, destaca-se o depósito de Vila Longa pela quase total ausência deste elemento em oposição ao de Casal de Cinza que revela, entre todos os depósitos estudados, os estatísticos mais elevados. É, também, evidente a elevada homogeneidade apresenta pelas amostras do Fundão.

Quadro 102 - Estatísticos básicos – feldspato: Na₂O (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – TiO ₂	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	0,090	0,126	0,120	0,000	0,068	0,105	0,137	0,040
Mediana	0,080	0,130	0,120	0,000	0,060	0,085	0,100	0,040
Moda	0,040	0,130	0,120	0,000	0,060	0,001	0,040	0,040
Desvio-padrão	0,080	0,005	0,000	0,000	0,064	0,086	0,128	0,000
Variância amostral	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,007	0,016	0,000
Curtose	6,632	-3,333	-2,308	DIV/0	0,270	-1,393	3,825	DIV/0
Assimetria	1,831	-0,609	-1,107	DIV/0	0,928	0,310	1,758	DIV/0
Intervalo	0,500	0,010	0,000	0,000	0,189	0,239	0,499	0,000
Mínimo (Grupo G)	0,000	0,120	0,120	0,000	0,001	0,001	0,001	0,040
Máximo (C1)	0,500	0,130	0,120	0,000	0,190	0,240	0,500	0,040
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Relativamente ao magnésio (quadro 103) constata-se que os estatísticos mais elevados surgem associados ao depósito da Sr.^a da Assunção, em particular o valor médio e o valor máximo verificados, onde também é notória uma maior heterogeneidade

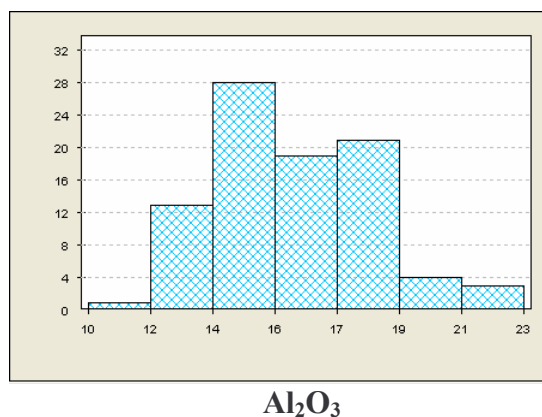
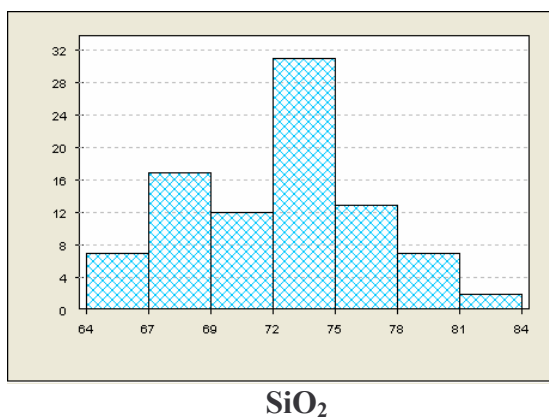
evidenciada pelo elevado valor de desvio-padrão. Uma vez mais, mas agora relativamente ao magnésio, nas amostras do depósito de Vila Longa não se detecta este elemento.

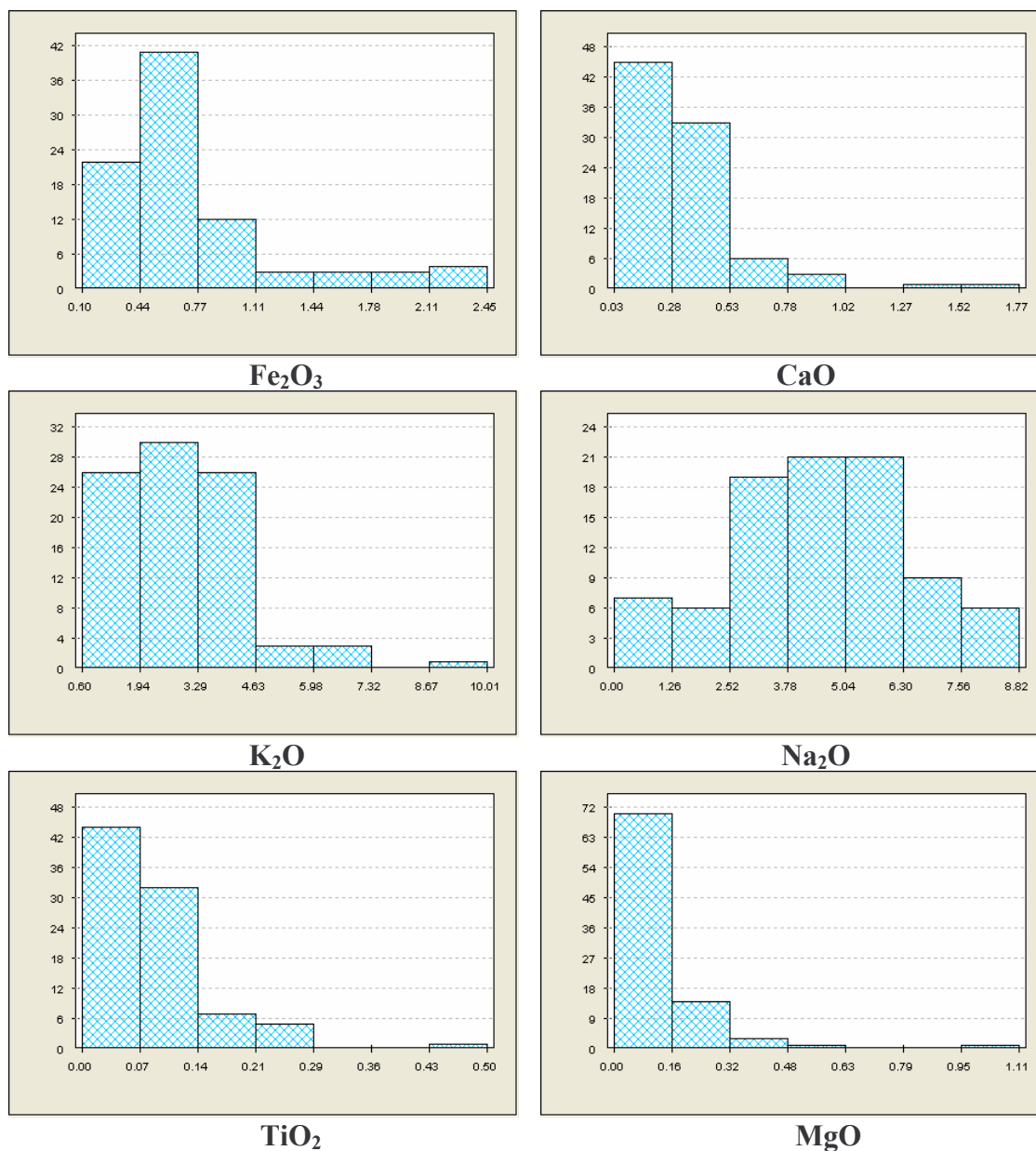
Quadro 103 - Estatísticos básicos – feldspato: MgO (por grupos de amostras e por elemento químico)

Feldspatos Elemento – MgO	Totalidade das amostras	Depósitos amostrados e respectivas designações						
		V	F	G	S	M	C	A
Média	0,103	0,228	0,060	0,000	0,289	0,126	0,058	0,062
Mediana	0,060	0,210	0,060	0,000	0,190	0,075	0,020	0,040
Moda	0,060	0,210	0,060	0,000	N/D	0,001	0,001	0,010
Desvio-padrão	0,154	0,049	0,000	0,000	0,341	0,146	0,080	0,073
Variância amostral	0,024	0,002	0,000	0,000	0,116	0,021	0,006	0,005
Curtose	20,398	2,828	-2,308	DIV/0	4,774	0,777	1,708	7,723
Assimetria	3,736	1,502	-1,107	DIV/0	2,022	1,230	1,540	2,502
Intervalo	1,110	0,130	0,000	0,000	1,109	0,499	0,259	0,290
Mínimo (Grupo G)	0,000	0,180	0,060	0,000	0,001	0,001	0,001	0,010
Máximo (S6)	1,110	0,310	0,060	0,000	1,110	0,500	0,260	0,300
N.º de amostras	88	5	16	7	9	20	15	16

Pela observação do histograma do SiO_2 conclui-se que a grande maioria das amostras exibe teores que se situam em dois intervalos, um entre 67% e 69% e outro entre 72% e 75%, e as restantes apresentam valores muito variados, sendo que apenas uma reduzida percentagem se situa entre 81% e 84%.

Os teores de Al_2O_3 , de Fe_2O_3 , de CaO , de K_2O , de Na_2O , de TiO_2 e de MgO , conforme se constata nos histogramas seguintes, mostram fortes concentrações de teor entre 14% e 19%, 0,10% e 0,77%, 0,03% e 0,53%, 0,60% e 4,63%, 2,52% e 6,30%, 0,001% e 0,14% e entre 0,001% e 0,16%, respectivamente.





A matriz de correlações (Spearman (*trian. sup.*) / Pearson (*trian.inf.*)) está representada no quadro 104, no qual se podem observar fortes correlações entre as variáveis SiO₂ e Al₂O₃, e entre Na₂O e K₂O.

Quadro 104- Matriz de Correlações - Spearman (*trian. sup.*) / Pearson (*trian.inf.*)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO
SiO ₂	1,000	-0,920	0,142	-0,023	-0,164	-0,319	0,161	-0,186
Al ₂ O ₃	-0,908	1,000	-0,183	-0,007	0,035	0,301	-0,151	0,116
Fe ₂ O ₃	0,066	-0,095	1,000	0,151	0,412	-0,511	0,289	0,480
CaO	-0,163	0,103	0,100	1,000	-0,046	0,317	-0,005	0,267
K ₂ O	-0,229	0,138	0,204	-0,056	1,000	-0,664	0,242	0,238
Na ₂ O	-0,333	0,279	-0,462	0,359	-0,522	1,000	-0,310	-0,175
TiO ₂	0,236	-0,175	0,183	-0,085	0,139	-0,253	1,000	0,375
MgO	0,044	-0,062	0,406	0,324	0,162	-0,305	0,080	1,000

O quadro 105 apresenta os eixos factoriais, os valores próprios, a taxa de inércia transportada e a taxa de inércia transportada acumulada referentes aos dados completos do feldspato e o quadro 106 indica as coordenadas das variáveis, referentes aos mesmos dados.

Os resultados obtidos neste tratamento via ACP, sobre os dados originais dos feldspatos, encontram-se sintetizados no quadro 27, para os cinco primeiros eixos retidos. Verifica-se, neste ensaio, que os dois principais factores (Factor 1 *versus* Factor 2) explicam no seu conjunto cerca de 53% da variabilidade contida na matriz dos dados.

Quadro 105 - Análise em Componentes Principais (Feldspato - dados completos)

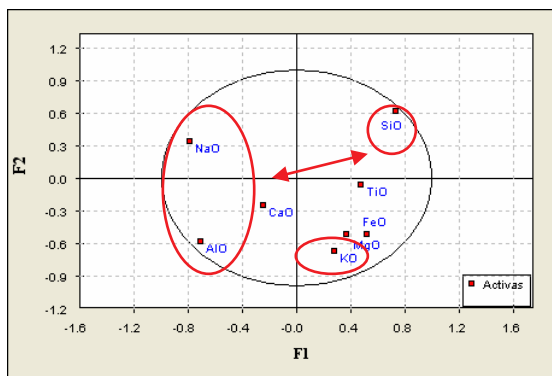
Eixos Factoriais	Valores Próprios	Taxa de Inércia transportada (%)	Taxa de Inércia transportada acumulada (%)
1	2,442	30,520	30,520
2	1,864	23,301	53,821
3	1,377	17,214	71,035
4	0,857	10,709	81,744
5	0,670	8,374	90,118

Quadro 106 - Coordenadas das variáveis (Feldspato - dados completos)

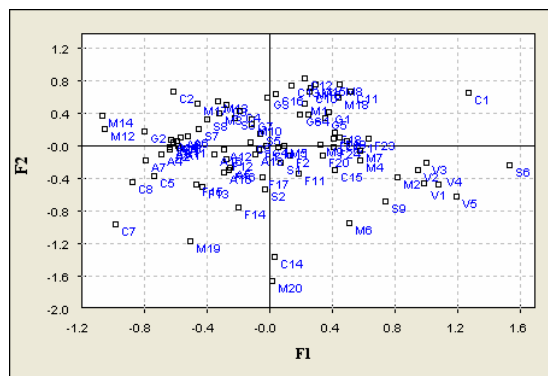
Eixos → Variáveis ↓	1	2	3	4	5
SiO₂	0,730	0,622	-0,171	0,063	-0,098
Al₂O₃	-0,713	-0,578	0,211	-0,115	0,187
Fe₂O₃	0,520	-0,507	-0,249	0,056	0,523
CaO	-0,251	-0,245	-0,806	-0,150	-0,313
K₂O	0,274	-0,670	0,401	0,041	-0,501
Na₂O	-0,795	0,341	-0,320	-0,203	0,008
TiO₂	0,473	-0,050	0,098	-0,870	0,026
MgO	0,368	-0,507	-0,565	0,120	-0,039

As coordenadas dos indivíduos (feldspato - dados completos) encontram-se no anexo 9.

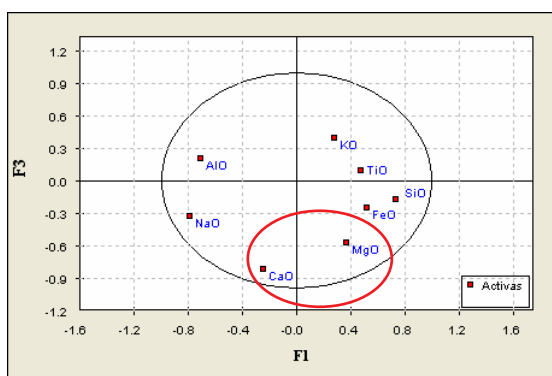
Os gráficos seguintes, alíneas a) a h), apresentam as projecções das variáveis e das amostras nos diferentes planos factoriais considerados.



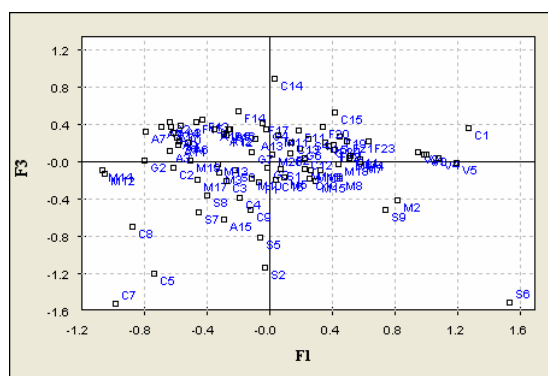
a)



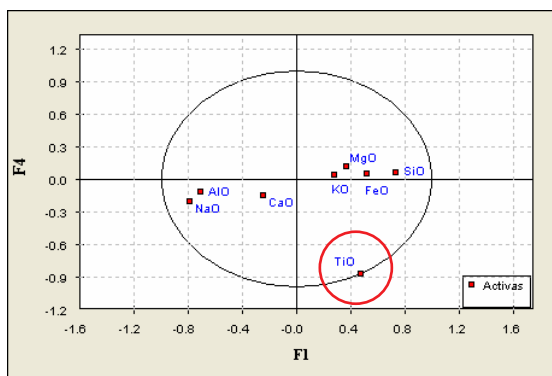
b)



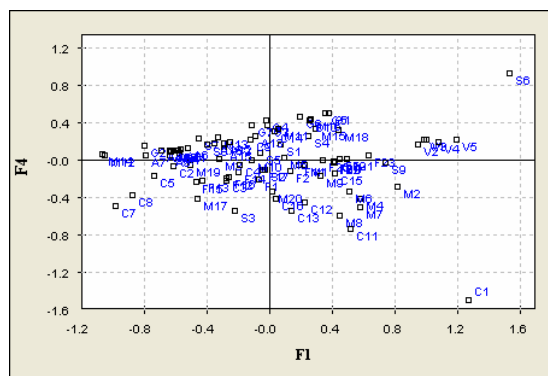
c)



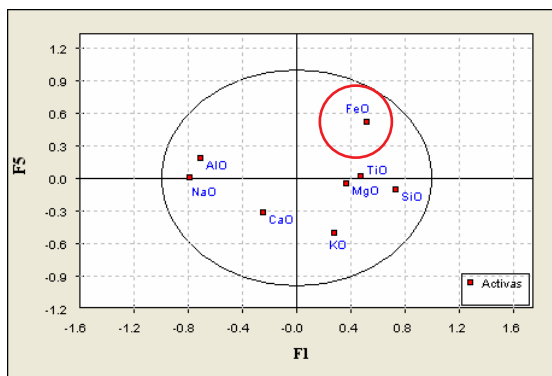
d)



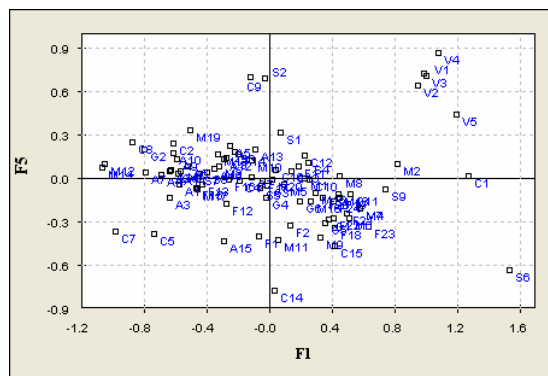
e)



f)



g)



h)

A figura da alínea a), primeiro plano factorial (Eixo 1 e Eixo 2), evidencia as variáveis relacionadas com o primeiro eixo, SiO_2 (semi-eixo positivo) e em oposição às variáveis Na_2O e Al_2O_3 (semi-eixo negativo), sendo que as variáveis projectadas no semi-eixo negativo representam cerca de 30% da variabilidade comportamental das variáveis.

Verifica-se, contudo, no mesmo plano factorial a associação entre as variáveis Fe_2O_3 , MgO e K_2O , relacionadas com o segundo factor e projectadas no semi-eixo negativo, com uma taxa de inércia transportada que representa cerca de 23% da variabilidade total da matriz dos dados.

O eixo 3 representa um valor significativo da variabilidade total (cerca de 17%), fundamentalmente devido à contribuição das variáveis CaO e MgO , ambas projectadas no semi-eixo negativo, logo sem oposição.

Os eixos factoriais 4 e 5, com taxas de inércia transportada da ordem dos 10% e 8%, respectivamente, apresentam contribuições pouco significativas para a explicação global da variabilidade da informação de partida. As variáveis TiO_2 e Fe_2O_3 apenas se encontram bem representadas nestes eixos factoriais.

A análise dos planos factoriais onde se projectam apenas as amostras, figuras das alíneas b), e), f) e h), permite verificar que existe uma certa homogeneidade relativamente ao comportamento das amostras de todos os depósitos.

É de realçar a clara oposição entre os depósitos de Vila Longa e da Sr.^a da Assunção, em grande parte detectada pelo contributo da ACP, pela maior e menor homogeneidade das amostras, respectivamente.

Este método de análise pode contribuir de forma significativa na interpretação de algumas variações observadas nos teores dos elementos químicos dos diferentes quartzos e feldspatos estudados, pois permite verificar o sentido das variações entre os elementos presentes e associar algumas delas às eventuais causas que as originam.

Os valores dos elementos considerados impurezas, sob o ponto de vista da aplicação industrial, verificados em algumas amostras de feldspatos de depósitos pegmatíticos parecem fortemente associados às respectivas zonas de bordadura, com influência directa na diminuição dos teores em SiO_2 .

14. CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu caracterizar e avaliar os quartzos e os feldspatos, particularmente os provenientes de pegmatitos portugueses, dada a importância que actualmente revelam sob o ponto de vista da respectiva aplicação nos diversos sectores da indústria.

A análise e interpretação dos resultados obtidos na investigação realizada permitem tecer algumas considerações, que julgamos serem contributos válidos para a utilização dos quartzos e feldspatos considerados no estudo, sempre na busca de soluções que apontem para a evidenciação de novas reservas, menores custos de produção e melhor adequação às indústrias a que se destinam.

A caracterização mineralógica e geológica dos quartzos estudados não revelou limitações significativas relativamente às aplicações industriais, sendo contudo oportuno assinalar a morfologia de alguns depósitos como limitadora sob o ponto de vista económico, dado que a respectiva exploração confronta-se com quantidades avultadas de rocha hospedeira a explorar para que o acesso aos quartzos seja possível.

Este obstáculo só poderá ser contornado se a exploração daqueles depósitos for entendida de modo integral, ou seja, contemplando a comercialização de todos os materiais presentes permitindo, desse modo, aumentar substancialmente as taxas de extracção e consequentemente diminuir os custos de produção, o que tornará os produtos bem mais competitivos e os colocará como uma boa alternativa aos materiais actualmente importados.

Constatou-se, ainda, que as ocorrências com quartzos de qualidade são significativas e, não obstante as quantidades encontradas nos diferentes depósitos, em termos individuais, serem relativamente pequenas para assegurar o retorno, a médio e longo prazos, dos investimentos necessários à extracção e tratamento desses materiais, a aposta em instalações de tratamento mais flexíveis, com mais capacidade produtiva e com um posicionamento geográfico que permita a extracção e tratamento dos quartzos de vários depósitos simultaneamente pode constituir uma boa solução para melhorar a taxa interna de rentabilidade associada a novos projectos, tornando-as bem mais atractivas.

Uma boa gestão geológica, tal como se referiu no trabalho, será imprescindível e deverá ter como alavanca principal o apoio dos métodos de prospecção e pesquisa adequados, cuja aplicação conjunta poderá contribuir de forma determinante para uma melhor identificação e quantificação das massas mineralizadas aflorantes, e evidenciarão outras massas não aflorantes que poderão assegurar a continuidade da exploração do quartzo, contrariando-se deste modo a prática das últimas décadas em explorar de forma ambiciosa as massas aflorantes sem desenvolver um esforço paralelo de evidenciação de novas reservas.

Também se constatou que a selectividade dos métodos de exploração e os diagramas de tratamento projectados, com vista ao tratamento de todos os minerais e materiais rochosos associados aos depósitos pegmatíticos, são factores fundamentais a considerar para assegurar a viabilidade económica das unidades produtoras actualmente em funcionamento, ou de futuros empreendimentos.

A análise comparativa da qualidade entre os quartzos nacionais e os restantes quartzos concorrenciais não revela diferenças significativas, apenas se vêem ultrapassados no valor comercial, situação que pode ser contrariada favoravelmente se forem preconizadas algumas das soluções já apontadas.

A situação geográfica dos depósitos de quartzo estudados pode ser considerada favorável tendo em conta a respectiva proximidade a boas infra-estruturas viárias e portuárias, especialmente para o quartzo que se destina ao mercado exterior.

Verificou-se, relativamente ao quartzo de alguns depósitos, alguma carência de pureza química para aplicações mais nobres, nomeadamente na indústria electrónica e óptica.

Contudo, para as restantes aplicações referidas neste trabalho, alguns dos quartzos amostrados apresentaram características suficientes, enquanto outros poderiam dotar-se das características necessárias se submetidos a processos de beneficiação adequados.

Muito embora o estudo tenha revelado como aplicação potencial deste tipo de quartzos a indústria metalúrgica, na produção de Si e FeSi, não serão de descurar outras aplicações que, pese o facto de não representarem grandes volumes, podem consumir

quartzos que actualmente são considerados subprodutos, rentabilizando economicamente estes depósitos.

Constatou-se, também, que a generalidade dos depósitos de quartzo ocorre, tal como se referiu, em massas de pequena dimensão, com reservas da ordem das 20000 t a 30000 t, sendo apenas excepcionalmente detectados depósitos que se situem entre 100000 t e 500000 t, estes últimos nem sempre exploráveis por se tratar de estruturas do tipo filoneano, subverticais na maioria das ocorrências estudadas, em que os volumes determinados resultam de grandes extensões e pequenas possanças, o que em alguns casos apenas os permite contabilizar como recursos.

Importa assinalar que os depósitos de quartzo avaliados evidenciam como reserva geológica cerca de quatro milhões de toneladas, das quais a maior percentagem da aplicação está associada ao sector da metalurgia, actualmente inexistente em Portugal, mas em franca recuperação na Noruega e na Islândia.

Contudo, é possível perspectivar a respectiva exploração, pois comprova-se que a ideia preconcebida de que os depósitos de pequena dimensão são economicamente inviáveis pode ser contrariada, em alguns casos, se atendermos à solução defendida neste trabalho que consiste em realizar a exploração integrada dos mesmos, tendo em vista a possibilidade de tratamento e comercialização dos materiais rochosos e não rochosos hospedeiros dos pegmatitos.

Trata-se, portanto, de uma mudança estratégica a implementar pelos empresários do sector extractivo, produtores de quartzo e feldspato, que terão de investigar estes novos mercados e conceber projectos que contemplem a utilização de instalações móveis de tratamento, com vista a atenuar economicamente o efeito negativo da pequena dimensão das formações.

Relativamente à questão anterior convém realçar a necessidade de capacitar tecnicamente as unidades extractivas, quer para assegurar os níveis de qualidade exigidos pelos diferentes mercados quer para possibilitar a utilização de técnicas e metodologias mais recentes que coloquem as unidades produtores em patamares de competitividade imprescindíveis na actualidade.

A técnica de Análise em Componentes Principais aplicada aos quartzos e aos feldspatos revelou-se uma “ferramenta” fundamental para a rentabilização dos depósitos

com menores reservas, pois fornece pistas importantes para identificar a variabilidade e correlação entre os teores dos elementos químicos de diferentes depósitos, o que constitui um importante meio para a homogeneização das diferentes matérias primas, apontada neste estudo como uma das medidas a implementar para assegurar a manutenção da qualidade dos produtos a colocar nos sectores de aplicação, dos quais se destaca o sector cerâmico.

Os feldspatos assumem particular importância pela crescente necessidade que se tem verificado no nosso país relativamente à obtenção daquele produto, facilmente comprovável pelo aumento verificado nos últimos anos dos montantes de importação de materiais feldspáticos, considerados essenciais à laboração de diversos sectores da indústria cerâmica onde são aplicados.

A actual tendência de mercado aponta no sentido de aumentos de consumo significativos de fundentes feldspáticos em Portugal a curto e médio prazos, pelo que este trabalho se desenvolveu com a expectativa de, por um lado verificar a hipótese de substituição dos materiais importados (estimados em cerca de 25% do volume total consumido anualmente) por materiais nacionais, e por outro lado averiguar se sob os pontos de vista da qualidade e quantidade os depósitos pegmatíticos nacionais têm capacidade de resposta ao actual aumento de procura deste tipo de materiais.

Os sectores da porcelana, sanitários e grés cerâmico são actualmente os sectores cerâmicos que mais recorrem aos fundentes feldspáticos importados, pelo que seria altamente vantajosa a colocação dos materiais nacionais, com boa qualidade, naqueles sectores, se bem que alguns dos feldspatos ensaiados não se enquadrem totalmente nos valores de alcalis e nas relações $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ e CaO/MgO exigidos para aplicação nos referidos sectores da cerâmica. Os teores em SiO_2 não se revelaram limitadores para quaisquer das aplicações.

Os resultados obtidos nos feldspatos amostrados de depósitos pegmatíticos apontam para a necessidade de beneficiação no sentido da diminuição dos teores de ferro e/ou outras impurezas presentes, o que não constitui particular dificuldade para os monominerais típicos dos pegmatitos mas pode obrigar a utilizar os processos de separação magnética e/ou flutuação, no caso de formações aplíticas, ainda que o

material tal qual seja susceptível de aplicação na indústria cerâmica, nomeadamente nos sectores da faiança e pavimentos.

Contudo, verificou-se que os materiais ensaiados de todos os depósitos amostrados revelaram que fundiam às temperaturas usadas na indústria cerâmica, o que constitui uma enorme vantagem tendo em conta que a fusibilidade dos materiais feldspáticos é uma das características mais limitadoras sob o ponto de vista da respectiva aplicação no sector cerâmico.

Porém, com a beneficiação ou loteamento das matérias-primas adequados poderão ser aplicados em indústrias mais nobres, as quais consomem actualmente produtos importados, contribuindo para uma melhor valoração dos feldspatos nacionais.

Pode concluir-se, também, a necessidade de um racional planeamento e selectividade da lavra mineira de forma a dotar as empresas nacionais de capacidade de resposta plena às exigências dos actuais mercados.

É importante que os produtores nacionais possam colocar no mercado produtos especificados, com exigências de qualidade equiparáveis aos materiais a que dão origem, o que implica a implementação dos mais adequados processos de tratamento, beneficiação e loteamento das diversas matérias-primas extraídas.

Por fim, não podemos deixar de referir a necessidade de um programa de testes e ensaios de caracterização física, química e tecnológica, no intuito de garantir um abastecimento de produtos homogéneos e de qualidade regular.

Perspectivas de estudo e desenvolvimento

A análise efectuada aos depósitos seleccionados lançou outras pistas para investigação, especialmente devido à especificidade dos depósitos pegmatíticos, que deverão ser objecto de futuros trabalhos.

Relativamente aos quartzos destaca-se a necessidade de estabelecer a relação entre a petrografia e as variações de comportamento observadas quando submetidos a altas temperaturas, assim como desenvolver metodologias e ensaios adequadas à determinação do índice de estabilidade térmica.

O loteamento de feldspatos potássicos e sódicos, com maior incorporação de feldspatos sódicos devido ao menor grau de fusibilidade e consequente redução do consumo de energia na secagem, deverá ser objecto de ensaios tecnológicos mais pormenorizados pela forte contribuição que podem proporcionar na redução dos custos de produção e das próprias matérias primas incorporadas nas pastas cerâmicas.

Dever-se-á prosseguir o trabalho de prospecção de novas ocorrências de depósitos de quartzo e de feldspatos, sobretudo na região NE de Portugal de modo a garantir a continuidade das produções.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, N.; THÖBE, P.; CORTEZ, S. (1983) – Quartz and Feldspar in Portugal. In: *5th Industrial Minerals International Congress*. Madrid: Cope and Clarke ed., p. 105-108.
- ALSOBROOK, A. (1994) – Speciality Materials: silica. In: *Industrial Minerals and Rocks*. Ed. D.D. Carr. Stappleton: SME, p. 893-991.
- ANDERSON, G.M.; BURNHAM, C.W. (1965) - The solubility of quartz in supercritical water. *American Journal of Science*. Vol. 263, p. 494-511.
- ANDREWS, P.R.A.; Pears, G.H.K.; BURT, R.O (1988) – Product and market evaluation of rubidium feldspar from Bernic Lake, Manitoba, Canada. In: *Proceedings Industrial Minerals International Congress, 8th*, Boston. p. 255-269.
- ANTUNES, I. M. H. R. [et al.] (2003) - Geoquímica das rochas graníticas, seus feldspatos e micas da região de Segura, centro de Portugal [resumo]. In: *IV Congresso Ibérico de Geoquímica: XIII Semana de Geoquímica: resumos*. Coimbra: Universidade de Coimbra. Departamento de Ciências da Terra. - p. 124-126.
- BARBA JUAN, Antonio; SANCHEZ VILCHES, Enrique (1994) – Curso de fabricação de revestimento cerâmico. Madrid: AICE.
- BARTH, Tom F. W. (1969)- *Feldspars*. New York: Wiley-Interscience.
- BATES, R.L. (1969) – *Quartz cristal: Geology of the industrial Rocks and Minerals*. New York: Dover publ.
- BLANC, E. C. (1974)- *Technologie des appareils de fragmentation et de classement dimensionnel*. Paris: Eyrolles.
- BOLGER (1995) – Feldspar & nepheline syenite: Turkish delight in export sales. *Industrial Minerals*. London. Nº 332, p. 25 – 45.
- BORBA, C. [et al.] (1996) – Estudo de matérias primas fundentes. *Cerâmica Industrial*. Nº 1 (Mar.- Abr.).
- BORDE, Vincent (1999) – *Prospection de quartz au Portugal à grande échelle : stage de fin d'études à Denain-Anzin Minéraux*. Vandoeuvre-Les-Nancy : Ecole Nationale Supérieure de Géologie.
- BORNE, H. (1994) – Glass raw materials. *Industrial Minerals and Rocks*. Stappleton. P.543-550
- BRISBIN, W.C. (1986) - Mechanics of pegmatite intrusion. *American Mineralogist*. Vol. 71, p. 644–651.
- BURGER, J. (1990) – Feldspar and nepheline syenite – at the mercy of glass markets. *Industrial Minerals*. London. August, p.21-33.
- BURT, Richard O. (1984) - *Gravity Concentration Technology*. Amsterdam: Elsevier. (Developments in mineral processing).

- CAMERON, E.N.; JAHNS, R.H.; McNAIR A.; PAGE, L.R. (1949) - Internal Structure of granitic pegmatites *Econ. Geol. Monogr.* 2, 115 p.
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Fornos de Algodres, folha 18A
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Gouveia, folha 17-D
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Guarda, folha 18-C
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Mora, folha 35B
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ponte da Barca, folha 5B
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Aguiar da Beira, folha 14D
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Celorico de Basto, folha 10-A
- Carta Geológica de Portugal, Escala 1:500 000.
- CARVALHO, A. M. Galopim de; ALVES, C. A. Matos; SERRANO, L. (1971) – A alteração caulínica do feldspato de certos filões de rochas ácidas, relacionados com o maciço eruptivo de Sintra. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*. Vol. 20, 3-4, p. 321-329.
- CERNY P.; BURT, D. M. (1984) - Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of the micas in granite pegmatites. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Vol. 13, p. 257-297.
- CERNY, P. (1971) - Graphic intergrowths of feldspars and quartz in some Czechoslovak pegmatites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Berlin: Springer-Verlag GmbH. Volume 30, Number 4, p. 343 – 355.
- CERNY, P. (1982a) - Anatomy and classification of granitic pegmatites. *MACshort Course Handbook 8*, p. 1- 39.
- CERNY, P. (1982b) - Petrogenesis of granitic pegmatites. *MACshort Course Handbook 8*, p. 405-461.
- CERNY, P. (1989a) - Characteristics of Pegmatite Deposits of Tantalum. In: ed. Möller, P.; Cerny, P. Saupé, F. - Lanthanides, *Tantalum and Niobium*. Springer-Verlag, Berlin. p. 196-239.
- CERNY, P. (1989b) - Exploration strategy and methods for pegmatite deposits of tantalum. In: ed. Möller, P.; Cerny, P. Saupé, F. - *Lanthanides, Tantalum and Niobium* . Berlin: Springer-Verlag.
- CERNY, P. [et al.] (1986) – Fractionation trends of the Nb-and Ta-bearing oxide minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatite auleole, Southeastern Manitoba. *American Mineralogist*. Vol. 71, p. 501-517.
- CERNY, P. [et al.] (2003) - Rubidium- and cesium-dominant micas in granitic pegmatites. *American Mineralogist*, Vol. 88; 11/12: 1, p. 1832-1835.
- CERNY, P.; MACEK, J. (1972) - Coloured potassium feldspars. *Canadian Mineralogist* 2, p. 679 -689.
- CERVEIRA, Alberto de Moraes (1974-1975) – *Preparação de minérios: preparação e fragmentação*. Porto, FEUP. 2 Vol.

- CERVEIRA, Alberto de Moraes (2004) – *Minerações auríferas romanas em Portugal*. [Texto policopiado]
- CERVEIRA, Alberto de Moraes (2005) – *Minas Romanas de ouro de Tresminas: um terço a explorar*. [Texto policopiado].
- CHANG, L. (2002) - *Industrial Mineralogy: Materials, Processes and Uses*. Prentice Hall.
- CHAROY, B.; NORONHA, F. (1996) – Multistage growth of a rare-element, volatile-rich at Argemela (Portugal). *Journal of Petrology*. Oxford, Vol.37, nº1, p.73-94.
- COLLINGS, R.K.; ANDREWS, P.R H. (1990) - *Summary Report no.11: nepheline syenite and feldspar*. CANMET.
- COLLOT, B. (1980-1981) - Les filons aplito-pegmatitiques du massif da Caroux (Montagne Noire): géométrie, déformation et mécanismes de mise en place. Bull. *B.R.G.M. (2ème Série)* Section 1, nº4, pp. 257- 267.
- COOPE, Brian M. (1989) – Synthetic silicas & silicon chemicals-natural silica consumers & rivals. *Industrial Minerals*. London. March, p.43-55.
- CORREIA, Vítor Manuel dos Santos (1997) – *Prospecção de filões aplito-pegmatíticos mineralizados em espodumena com recurso a métodos geofísicos na região da Serra do Barroso, Trás-os-Montes Ocidental*. Obra em 3 volumes. Tese de mestrado em Tecnologia e Gestão de Recursos Minerais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- CORTEZ, Simões (2003) – Pedreiras para inertes: da prospecção à recuperação. In: *Seminário dobre Agregados*. Lisboa: LNEC. 15p.
- COSTA, Joaquim Botelho da Costa (1979) – *Estudo e classificação das rochas*. 5ª ed.. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- CRUZ (1966) – *A amostragem na exploração dos pegmatitos com cassiterite: Aplicação ao jazigo do Seixoso* [Texto policopiado].
- DANA, James D. (1983) – *Manual de Mineralogia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- DAVIS, John C. (2002) – *Statistics and data analysis in Geology*. 3rd.ed. New York: John Wiley & Sons.
- DEER, W. A. [et al.] (1981) – *Minerais constituintes das rochas: uma introdução*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN J. (2001) - *Framework silicates: feldspars*. 2nd ed. London: Geological Society.
- DENAIN-ANZIN MINERAUX (2000) – *Analyse sondages*. [Texto policopiado].
- DEROUE, Philippe (1980) - *Influence des impuretés chimiques sur la température d'inversion de la transformation*. Sèvres: Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle.
- DINIS, Paulo Fernandes; ROCHA, Fernando; GOMES, Celso (1999) – Caracterização de pegmatitos feldspáticos de Pinheiros, Aguiar da Beira, como matéria-prima cerâmica. In: *Proceedings, Materiais'99*, 9º Encontro da Sociedade Portuguesa de Materiais: Guimarães Universidade do Minho. vol. 1, p. 305-310

- DONNAY, J. D. H.; LE PAGE, Y. (1978) – The vicissitudes of the low-quartz crystal setting or the pitfalls of enantiomorphism. *Acta Crystallographica. Section A*. Vol. 34, p. 584-594.
- ERCIT, T. S.; WISE, M. A.; CERNY, P. (1995) - Compositional and structural systematics of the columbite group. *American Mineralogist*. Vol. 80, 5/6, p. 613-619.
- EUROQUARTZO – Portugal, Ltd. (2001) – *Relatórios de sondagens*. [Texto policopiado].
- FABBRI, B.; FIORI C.; RAVAGLIOLI, A. (1989) – *Materie prime ceramiche*. Faenza: Faenza Editrice.
- FARIA, Alberto Filipe (1993) – *Estudo sobre a área da concessão mineira “Gralheira” de de quartzo-faldspato-glucínio (Concelho do Sátão, Distrito de Viseu)*, [texto policopiado].
- FERNANDES, José Augusto (1998) – *Quartzo de determinados depósitos portugueses, filoneanos e pegmatíticos: propriedades e aplicações industriais*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 1998. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Minerais e Rochas Industriais, pela Universidade de Aveiro.
- FERNANDES, José Augusto; VELHO, José Lopes (2003) – *Potencialidades dos depósitos pegmatíticos de quartzos e feldspatos em Portugal*. In: III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território. Vila Real: UTAD.
- FERREIRA, M. D.; SILVA, V.; LIMA, M. F.; GOMES, C. Leal (1999)- Anatomia de algumas ocorrências de gemas e seu enquadramento em protocolos de ordenamento territorial: contributo para uma reflexão sobre o estatuto dos depósitos gemíferos portugueses. *Actas do 1 Seminário sobre Património Geológico Português*. Alfragide: IGM.
- FERSMAN, A.E. (1961) - Les pegmatites I, III. *Les pegmatites granitiques*. Librairie Universitaire Uystpruyst, Louvain (Belgique).
- FONSECA, Ilídio Adérito Barreiras (1993) – *Uma abordagem interdisciplinar do problema da separação electrostática em tratamento de matérias primas minerais*. Tese de doutoramento Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- GAMA, C. D. (1986) – Análise da composição volumétrica de maciços rochosos compartimentados. *Solos e Rochas*. Rio de Janeiro. Vol.9, nº1, p.3-13.
- GAMA, C. D.; BASTOS, M. J. N. (1994) – Análisis volumétrico de macizos rocosos fracturados para optimizar la extracción de rocas e minerales. *Ingeopres*. Madrid. Nº16, p.27-31.
- GINZBOURG, A. (1960) - Specific geochemical features of the pegmatitic process. *Report 21st Int. Geol. Congr.* 17, p. 111-121.
- GINZBOURG, A. [et al.] (1979) – *Principles of geology of the granitic pegmatites*. Moscow: Nedra (trad. inglesa)
- GIRAUD, Pierre Noël (1983) - *Geopolitique des ressources minières*. Paris: Economica.
- GOAD, B.E.; CERNY, P. (1981) - Peraluminous pegmatitic granites and their pegmatite aureoles on the Winnipeg River District, Southeastern Manitoba. *Canadian Mineralogist*. Vol.19, p. 177-194.

- GODINHO, M. M. (1982) – Uma sugestão preliminar sobre o uso do índice de triclinicidade como estimador do grau de ordenamento estrutural nos feldspatos potássicos de rochas granitoides. *Memórias e Notícias*. Coimbra: Museu de Mineralogia e Geologia da Univ. de Coimbra. Vol. 94.
- GODINHO, M. M. ; JALECO, J. M. P. (1973) – *Feldspatos potássicos dos granitoides da região de Castro-Daire (Viseu-Portugal). Parte I – Estado estrutural*. Coimbra: Museu de Mineralogia e Geologia da Univ. de Coimbra.
- GODINHO, M. M.; JALECO, J. M. P. (1975)- *Feldspatos potássicos dos granitoides da região de Castro-Daire (Viseu-Portugal).Parte III- Parâmetros da célula elementar e distribuição intra-estrutural do alumínio*. Coimbra: Museu de Mineralogia e Geologia da Univ. de Coimbra.
- GOIS, Joaquim Eduardo Sousa (1993) – *Técnicas Geomatemáticas aplicadas ao tratamento de dados da prospecção sísmica de Petróleos*. Tese de mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro da Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- GOLDSMITH, J.R.; LAVES, F. (1954) - Potassium feldspars structurally intermediate between microcline and sanidine. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 6, p. 100-118.
- GOMES, C. Leal (1984) – Ocorrências de andaluzite em pegmatitos da região de Arreigada (Paços de Ferreira - Porto). *Memórias e Notícias*. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, 98, p. 175-194.
- GOMES, C. Leal (1985) – Estado estrutural e geoquímica de megacristais de feldspato potássico em aplito pegmatitos da região de Arga, Minho (Portugal). *Comunicação à IX Reunião de Geologia do W Peninsular* (resumo).
- GOMES, C. Leal (1986) – *Pegmatitos, aproximação ao seu interesse económico - Plano para uma aula teórico-prática da disciplina de “Recursos Minerais e Energéticos”*. Aula avaliada em provas de A.P.C.C., Univ. Minho, 13p.
- GOMES, C. Leal (1986a) – Esboço de caracterização estrutural do campo filoniano de Arga (Minho). Maleo, *Bol. Infor. Soc. Geol. Portugal*. Lisboa, Vol.2, nº13, p.23-24.
- GOMES, C. Leal (1986b) – *Campo filoniano da Serra de Arga (Minho): contribuição para o seu conhecimento estrutural e geoquímico*. Univ. Minho. (Síntese para as provas de A.P.C.C.)
- GOMES, C. Leal (1994) – *Estudo estrutural e paragenético de um sistema pegmatóide granítico. - O campo aplito-pegmatítico de Arga - Minho (Portugal)*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho - Braga; 695p.
- GOMES, C. Leal (1995a) – Anatomia e classificação de pegmatitos cerâmicos intragraníticos do Norte de Portugal. *Memórias* nº4, Publ. Museu Lab. Min. Geol., Univ. Porto. P. 725-729.
- GOMES, C. Leal (1995b) – Discriminação do espectro de recursos base associados à evolução residual do campo filoniano de Arga - Minho - N de Portugal. *Estudos Notas e Trabalhos* Inst. Geol. Min., nº37, p.59-86.
- GOMES, C. Leal (1995c) – Relações de complexação/ mineralização a partir de magmas pegmatóides no sistema granítico residual de Arga-Minho - N de Portugal. *Memórias* nº4, Publ. Museu Lab. Min. Geol., Univ. Porto, p. 731-734.

- GOMES, C. Leal (1995d) – Caracterização de cassiterites do campo aplito-pegmatítico granítico de Arga-Minho- Província Pegmatítica Hercínica do NW Ibérico. *Comunicaciones*, XIII RGOP Saïamanca-IGCP 319-320 (Alonso & Coral Eds), p. 86-90.
- GOMES, C. Leal (1997) – Evolução em subsolidus de paragénese pegmatíticas - Sistema granítico residual da Serra de Arga (Minho-N de Portugal). *Actas da X Semana de Geoquímica - IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, p. 195-198.
- GOMES, C. Leal (1999a) – Diferenciação paragenética e fraccionação dos nióbio-tantalatos do grupo pegmatítico de Naípa - Zambézia - Moçambique. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, p. 81-85.
- GOMES, C. Leal (1999b) – Equilíbrio e evolução dos fosfatos do pegmatito do Lourinhal - Campo aplito pegmatítico da Serra de Arga (Minho, Norte de Portugal). *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, p. 87-90.
- GOMES, C. Leal (1999c) – Expressão mineralógica recorrente de alumina e fosfato, no decurso da evolução tectono-metamórfica D2-D3 Hercínica - Interpretação de índices paragenéticos do campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga - Minho - N de Portugal. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa p. 95-98.
- GOMES, C. Leal (1999d) – Indicadores paragenéticos das mineralizações pegmatíticas na área da concessão Naípa - Zambézia - Moçambique. *Actas do II Congresso ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, p. 121-124.
- GOMES, C. Leal [et tal.] (1997a) – Caracterização das amazonites pegmatíticas de granitos pós-tectónicos do Norte de Portugal. I - Modo de ocorrência, estado estrutural e geoquímica. “*Comunicações*” - Pires, C. C.; Gomes, M.E.P.; Coke, C. (Eds) - PICG 376 - XIV reunião de geologia do Oeste Peninsular, p. 91-96.
- GOMES, C. Leal [et tal.] (1997b) – Condições de cristalização de paragénese litíferas no pegmatito do Picoto do Carvalho - sector distal E do campo filoniano de Arga - N de Portugal. “*Comunicações*” - Pires, C. C.; Gomes, M.E.P.; Coke, C. (eds.)- PICG 376 - xiv reunião de geologia do Oeste Peninsular, p. 79-84.
- GOMES, C. Leal; CASTRO, P.; ALVES, C. (1995) - Caracterização de espinelas ziníferas e do par Ganite Nigerite no campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga-Minho- N de Portugal. *Memórias* nº4, Publ. Museu Lab. Min. Geol., Univ. Porto, p. 629-633.
- GOMES, C. Leal; GASPAR, O. C (1992) – Mineralizações filonianas associadas a cisalhamentos pós-pegmatóides do campo aplito-pegmatítico de Arga-Minho. In: *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. Tomo 78, fasc. 1, p. 31-47.
- GOMES, C. Leal; LETERRIER, J. (1995) – Tipologia composicional e evolução geoquímica em sistemas pegmatóides graníticos. Tendências primárias do sistema de Arga-Minho - N de Portugal. *Memórias* nº4, Publ. Museu Lab. Min. Geol., Univ. Porto, p. 735-740.
- GOMES, C. Leal; NUNES J.L. (1990) – As paragénese correspondentes à mineralização litífera do campo aplito-pegmatítico de Arga-Minho (Norte de Portugal).

- Memórias e Notícias*. Coimbra: Museu de Mineralogia e Geologia da Univ. de Coimbra. Vol. 109, p. 131-166.
- GOMES, C. Leal; NUNES, J. L. (2003) – Análise paragenética e classificação dos pegmatitos graníticos de Cintura Hercínica Centro-Ibérica. In: *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos*. Vol.2. Coimbra: Imprensa da Universidade. P. 85-110.
- GOMES, C. Leal; NUNES, J.L. (1991) – Estrutura e paragénesse de unidades pegmatíticas tardias (exemplos do Minho). *Comunicação ao 3º Congresso Nacional de Geologia*, Coimbra. (Resumo).
- GOMES, C. Leal; NUNES, J.L.; SALGADO, J.L.F. (1987) - Amazonites em pegmatitos do granito de Felgueira (Valença, N de Portugal). Resumo. In: *Actas da V Semana de Geoquímica* (I Reun. Iberica Geoq.), Aveiro.
- GOMES, C. Leal; TRABULO, L.C.; NUNES, J. L. (1997) - Caracterização geoquímica da fase feldspática do grupo pegmatítico de S^a de Assunção - Aguiar da Beira — Sátão - Portugal. Implicações petrogenéticas. “*Comunicações*” Pires, C.; Gomes, M.; Coke, C. (Eds) - PICG 376 - XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, p. 97-102.
- GOMES, C. Leal; VALENTE, T.; LIMA, M.; ROCHA, A. (1999) - Ordenamento e gestão de recursos naturais do domínio geológico — Revalorização e renovação de objectivos, métodos e interfaces. *Boletim da APG*, nº13, p. 5-7.
- GOMES, Celso Figueiredo (1988) – *As argilas: o que são e para que servem*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- GOMES, Celso Figueiredo (1990) – Quartzo e matérias primas afins. In: *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas*. Lisboa: INIC. 221p.
- GOUANVIC, Y.; GAGNY, C. (1987) - Contribution à l'étude des litages pegmatiques: l'exemple de la pegmatite de Covide (Nord - Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, Vol. 76:1, p. 125-135.
- GRADE, José M. Conceição [et al.] (1994) - Jazigo da Catraia: Fonte Alternativa de Fundentes Feldspáticos para a Indústria Cerâmica. *Boletim de Minas*. Vol. 31, nº 1, p. 33-46.
- GRIFFITHS, Joyce B., ed. (1998) – *Industrial minerals prices and data 1997*. London: Industrial Minerals Information, Ltd.
- GUILBERT, J.M.; PARK, C.F. Jr. (1986) - *The Geology of ore deposits*. New York: W. H. Freeman.
- HALE, D. R.; BLAIR, R.E. (1993) – Electronic and optical uses. *Industrial Minerals and Rocks*. Stappleton. Vol.1 p. 213-231.
- HALL, Anthony (1998) – *Igneous Petrology*. 2nd ed. Essex: Logman.
- HARBEN, Peter W. (1995) – *The industrial minerals handybook: a guide to markets, specifications and prices*. 2nd ed. London: Industrial Minerals Division.
- HARBEN, Peter W; BATES, Robert L. (1984) – *Geology of nonmetallics*. New York: Metal Bulletin.

- HEANEY, P. J. (1994) – Structural and chemistry of the low-pressure silica polymorphs. In: *Reviews in Mineralogy*. Washington: Mineralogical Society of America. Vol. 29.
- HEMLEY, R. J.; PREWITT, C. T.; KINGMA, K. J. (1994) - High-Pressure Behavior of Silica. In: *Reviews in Mineralogy*. Washington: Mineralogical Society of America. Vol. 29.
- HOCHLEITNER, Rupert; FEHR, Karl (2005) – Isokite, CaMg [FIPO₄], from Senhora de Assunção, Portugal: new find and new data. *N. Jb. Miner. Abh.* Vol. 182:1, p. 103-108.
- HOULDING, Simon (1994) – *3D Geoscience Modeling: computer techniques for geological characterization*. New York: Springer-Verlag.
- I.G.M.- Laboratório (1995) - Jazigo da Catraia : geologia e cálculo de reservas e estudo tecnológico da beneficiação. S. Mamede de Infesta: IGM. Laboratório. (Projecto 3.3.3 / Núcleo de Caracterização Tecnológica e Processamento).
- JAHS, R. H. (1955) - The study of pegmatites. *Economic Geology*. 50th Anniversary Volume, p.1025-1130.
- JAHS, R. H.; TUTTLE, O.F. (1963) – Layered pegmatite-aplite intrusives. *Mineral. Soc. America Sp. Pap.* 1, p. 78-92.
- JAHS, R.H. (1953) - The genesis of pegmatites. I. Occurrence and origin of giant crystals. *American Mineralogist*. Vol. 38, p. 563 -598.
- JAHS, R.H. (1982) - Internal evolution of pegmatite bodies. *MACshort Course Handbook* 8, p. 293-327.
- JAHS, R.H.; BURNHAM, C.W. (1969) - Experimental studies of pegmatite genesis: a model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Econ. Geol.*, 64, p. 843-864.
- JESUS, A.M. (1935) – Pegmatites mangano-litíferas da região de Mangualde. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, t. XIX, 150 p.
- KAUFFMAN, Roger A.; DYK, Dean V. (1998) – Feldspars. *Industrial Minerals and Rocks*. Stapleton. p. 473-480.
- KENNEDY, G. C. (1950) – A portion of the systems silics-water. *Economic Geology*. Vol 45, p. 629-653.
- KONNERUP-MADSEN, Jens (1984) - *Compositions of fluid inclusions in granites and quartz syenites from the gardar continental rift province, South Greenland*. [S.l.] : [s.n.], 1984. Sep. de: *Bull. Minéral.*, 107, p. 327-340.
- KUSMENKO, M. V, ed. (1976) - *Rare-element granitic pegmatite fields (geochemical specialization and distribution)*. Nauka, Moscow, (trad. Can.).
- KUZVART, Milos (1984) - *Industrial minerals and rocks*. Amsterdam: Elsevier.
- LISBOA, José Vitor Vieira (1980) – Prospeção de Matérias Primas Cerâmicas: Cartografia Litoestrutural Temática da Área Rochel-Côja (Bacia Sedimentar de Lousã-Arganil). *Estudos, Notas e Trabalhos*. Tomo 40, 12 p.

- LISBOA, José Vítor Vieira (1998) – Prospeção de Matérias-primas Cerâmicas. Cartografia Litoestrutural Temática das Formações Arcólicas da Bacia Sedimentar Arganil - Côja. *Comunicações*. Tomo 84, 2º Vol.
- LOBATO, C. Pires (1971) – Condições geológicas de integração de exploração de jazigos pegmatíticos das Beiras – Portugal. In: *Congresso Hisp.-Luso-Amer. Geol. Econ.*, 1º, Madrid, 1971. Vol2, p. 721-724.
- LONDON, D.; BURT, D.M. (1982a) - Lithium minerals in pegmatites. *MACshort Course Handbook* 8, p. 99-133.
- LONDON, D.; BURT, D.M. (1982b) - Lithium-aluminosilicate occurrences in pegmatites and the lithium aluminosilicate phase diagram. *American Mineralogist*. Vol. 67, p. 483-493.
- LONDON, D.; BURT, D.M. (1982c) - Alteration of apodumene, montebrasite, and lithiophilite in pegmatites of the White Picacho district, Arizona. *American Mineralogist*. Vol. 67, p. 97-113.
- LONDON, D.; MORGAN, G.B.; HERVIG, R.L. (1989) - Vapor undersaturated experiments with Macusani glass + H₂O at 200Mpa, and the internal differentiation of granitic pegmatites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol.102:1, p. 1-7.
- LOPES, Edgar A. S. (2003) – *Determinação da morfologia e estrutura interna do depósito pegmatítico de Senhora da Assunção – Sátão*. Braga: Universidade do Minho. (Relatório de estágio)
- LÓPEZ JIMENO, Carlos, ed. (1996) - *Manual de rocas ornamentales: prospección, explotación, elaboración y colocación*. Madrid: Entorno Grafico.
- LUSTER, G.R. (1977) - *Lithoigic variability of the Kings Mountain Pegmatite, North Carolina*. M. Sc. Thesis, Pennsylvania State Univ. Pennsylvania: University Park.
- MALTER, C. (1965) - *Geological investigations in the Amarante region (Northern Portugal) with special reference to the mineralogy of cassiterite-bearing aibite pegmatites*. Ph.D. thesis, University of Amsterdam.
- MANNING, D. A. C. (1981a)- *The application of experimental studies in determining the origin of topaz-quartz-tourmaline rock and tourmaline-quartz rock*. [S.l.: s.n.]. Sep. de: Annual Conference of the Ussher Society, January 1981, p. 121-127.
- MANNING, D.A.C. (1981b) - The effect of fluorine on liquidus phase relations in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1Kb. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 76:2, p. 206-215.
- MARQUES, João Correia (1998) – Estudo de mercado de fundentes feldspáticos. In: *Jornadas da Industria Mineira Portuguesa*, 2º, Lisboa.
- MARTIN, J.S. (1983) - An experimental study on the effect of Li on the granite system. *Proc. Ussher Soc.*, 5, p. 417-420.
- MARTIN, R.F. (1982) - Quartz and the feldspars. *MACshort Course Handbook*, 8, p. 41-62.
- MATIAS, R. L. S.; PACHECO, F. A. L. (1998) - Aproveitamento do Filão Microgranítico de Molelinhos-Salgueiral como Fundente Feldspático. *Comunicações*. Tomo 84, 2º Vol.

- MATOS, Maria José (1998) – *Contribuição para o estudo da libertação de minérios poliminerais Técnicas e modelos*. Lisboa: UTL/IST.
- MATOS, Maria José (1999) – O aplito de Mesquitela-Freineda: Parte I : Beneficiação para concentração dos feldspatos. *Estudos, Notas e Trabalhos*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro. Tomo 41, p. 27-36.
- MATOS, Maria José; LASTRA R., PETRUK, W. (1996) - Characterization of feldspar texture and liberation by automated image analysis. In: *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, Section C, Vol. 105, C75-150, pp. C133-C140.
- MELGAREJO, J.C.; PONTACO, J.; TARGARONA, J. (1990) - Primeros datos sobre mineralización Sn-Nb Ta-Be en el área pegmatítica dei Cap de Creus (Catalunya). *Bol. Geol. Min.*, 101-5, p. 761-765.
- MERINO, Henrique K.W. (1991) – Jazigos pegmatíticos de Pestarenga (Sátão- Viseu): relatório de reconhecimento geológico. [Texto policopiado].
- MOREY, G. M.; FOURNIER R.O.; Rowe, J.J. (1962) – The solubility of quartz in water in the temperature interval from 25° to 300° C. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 26, p. 1029-1043.
- MOTTET, Bruno (2000) – A mixed bag: feldspar for the sanitaryware industry. *Industrial Minerals*. London. Nº 390, p. 83.
- MOURA, A. Casal (2000) – Granitos e rochas similares em Portugal. Porto: IGM.
- MUNZ, Dietrich; Fett, Theo (1999) - *Ceramics: mechanical properties, failure behaviour, materials selection*. Berlin: Springer.
- MURPHY, T. D. ;HENDERSON, G. F. (1983) – Silica and Silicon. *Industrial Minerals and Rocks*. Stapleton. Vol. 2 p. 1167-1185.
- NATO Advanced Study Institute on Feldspars and Fedspathoids, Structures, Properties, and Occurrences, Rennes, France (1983) - *Proceedings*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, cop. 1984.
- NEIVA, Ana M. R. (1972) - *Sobre a microlina de alguns aplitos e pegmatitos de Alijó-Sanfins (Vila-Real) Norte de Portugal*. Coimbra: Departamento de Mineralogica e Geologia da Universidade.
- NEIVA, Ana M. R. [et al.] (1998) - Geoquímica da turmalina de granitos, aplitos, pegmatitos, filões de quartzo e rochas metamórficas e metassomáticas do Norte de Portugal. In: *Comunicações*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro. Tomo 84, Fasc. 1, p. B.23-B.26.
- NEIVA, J.M. Coteló (1976) – *Pegmatito de Paredes (Lixa)*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Coteló (1976) – *Quartzo de interesse económico nas regiões de Mondim de Basto, Valdegas (Boticas), Sta. Maria de Émeres (Valpaços), Três Minas, Jou e Valongo dos Milhais (Murça)*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Coteló (1976) – *Quartzo de interesse económico nos concelhos de Mirandela e Alijó*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Coteló (1976) – *Sobre alguns Quartzitos*. [Texto policopiado].

- NEIVA, J.M. Cotelo (1976-1977) – *Filão de Quartzo da Ladeira ou Seixo 2º* (Moimenta da Beira). [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Cotelo (1976-1977) – *Massas pegmatíticas da região ocidental da Serra da Vila Mendo e de entre Ribeira e Real (Mesquitela, Mangualde)*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Cotelo (1976-1977) – *Quartzo explorável a céu aberto em Monte Verde, S. Pedro das Águias, Várzea de Trovões, Ribeiro de Ribalonga, Catanheiro do Norte e Pombal*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Cotelo (1977) – *Localização de bons afloramentos de Quartzo junto de boas vias de comunicação*. [Texto policopiado].
- NEIVA, J.M. Cotelo (1944) – Jazigos portugueses de cassiterite e de volframite. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, T. XXV, 251p.
- NESEN, G. (1981) - *Le modèle Exogranite - Endogranite à stockscheider et la métallogenèse Sn-W. Étude des gisements de Fontão et Santa Comba (Galice, Espagne)*. Thèse 3ème cycle, Univ. Nancy.
- NEVES, J. M. Correia (1960) – *Pegmatitos com berilo, columbite-tantalite e fosfatos da Bendade (Sabugal, Guarda)*. Coimbra: Faculdade de Ciências da Universidade.
- NEVES, J. M. Correia. (1962) - Pegmatitos da região da Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu). *Memórias e Notícias*, Coimbra: Museu de Mineralogia e Geologia da Univ. de Coimbra. Nº54.
- NEVES, Luís (1996) – A velocidade de arrefecimento do plutonito de Avô como factor determinante no ordenamento dos seus feldspatos potássicos. In: *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*. Tomo 82, p. 31-36.
- NEVES, Luís [et al.] (1995) – Estimação expedita do ordenamento Al-Si do feldspato potássico, uma reapreciação. *Memórias e Notícias*. Coimbra: Departamento de Ciências da Terra. Nº 120, p. 15-24.
- NEVES, Luís; GODINHO, M. M. (1995) – Estimação expedita do ordenamento Al-Si do feldspato potássico: uma reapreciação. *Memórias e Notícias*. Coimbra: Departamento de Ciências da Terra. Nº 120, p. 15-24.
- NEVES, Luís; GODINHO, M. M. (1999) – Structural state of K-feldspar in some hercynian granites from Iberia: a review of data and controlling factors. *The Canadian Mineralogist*. Vol.37, p.691-700.
- NEVES, Luís; PEREIRA, Alcides; GODINHO, M. M. (2001) - The role of cooling rate on the Al-Si order of K-feldspar in the hercynian Tábua granite, Central Portugal. *The Canadian Mineralogist*. Vol.39, p.85-92.
- NEWMHAM, R. E. (1975) – *Struture property relations*. Berlin: Springer.
- NORONHA, Fernando Pereira de (1974)- *Étude des inclusions fluides dans les quartz des filons du gisement de tungstène de Borralha (nord du Portugal)*. Porto: Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto. (Publicações; 85). 32p.
- NORTON, J.J. (1975) - Pegmatite minerals. In: *Mineral and Water Resources of South Dakota*. *South. Dakota Geol. Serv. Bull.* 16, p. 132-149.

- NORTON, J.J. (1983) - Sequences of mineral assemblages in differentiated granitic pegmatites. *Econ. Geol.* Vol. 78, p. 854-874.
- NUNES, Artur de Figueiredo (1990) – *As matérias primas mineiras para o século XXI*. Lisboa: ISEG. CESA.
- NUNES, J. L.; GOMES, C. Leal (1994) - The crystal chemistry of spodumene in some granitic aplite pegmatite bodies of Northern Portugal: A comparative review - Discussion. *Canadian Mineralogist*. Vol. 32, p. 223-226.
- NUNES, J.L. (1973) - Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique. *Sciences de la Terre*, Mem 26, 261p.
- OBER, J.A. (1990) – Quartz cristal. *Minerals Yearbook 1989*. U S: Bureau of Mines.
- OBER, J.A. (1994) – Electronic and optical materials. In: *Industrial Mineral and Rocks*. Ed. D.D. Carr. Stappleton: SME. P. 474-478.
- OLERUD, Svein (1995) – Norway's industrial minerals: changing ownership & increased export. *Industrial Minerals*. p. 23-31.
- PAPUNEN, Heikki, ed. (1997) - Mineral deposits: research and exploration where do they meet? In: *Proceedings of the Fourth Biennial SGA Meeting Turku*, Finland. Rotterdam: A. A. Balkema.
- PEREIRA, Alcides Rodrigues (1981) – Industria extractiva: situação actual e perspectivas de desenvolvimento. *Boletim de Minas*. Lisboa. 18:3, p125-149.
- PEREIRA, H. Garcia (2004) – *Análise de dados geológico-mineiros: aplicações e estudo metodológico*. Lisboa: Instituto Superior Técnico. (Tese de Agregação)
- PEREIRA, M. F. C.; GOMES, C. Leal; A L. (1998) – Análise estrutural e modo de instalação do pegmatito granítico de Pereira de Selão - Vidago (N de Portugal). *Comunicações*. Porto: I. G. M. T 84, Fasc. 1, p. B-43,B-46.
- PEREIRA, M. F. C.; GOMES, C. Leal; AIRES-BARRSO L. (1999) – Discriminação composicional das unidades tardias do pegmatito de Pereira de Selão - Vidago - Norte de Portugal. In: *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*. Lisboa, p. 273-276.
- PEREIRA, M. F. C; GOMES, C. Leal (1998) - Esboço de caracterização estrutural e mineralógica do pegmatito granítico do Seixiga/-Pereira de Selão - Vidago. In: *I Simpósio de Estudantes de Geologia – “Geologia Ambiente e Sociedade”, livro guia de excursão*. Gomes, M.E.; Leal Gomes, C.; Pereira, M.F.C., eds. Vila Real: UTAD, p. 12-17.
- PHILIPS, W. R.; GRIFFEN, D.T. (1981) – *Optical mineralogy*. San Francisco: W.H. Freeman & Sons.
- POLLARD, P.J. (1989) - Exploration for granite-hosted tantalum deposits: An approach via district analysis. In: *Lanthanides, Tantalum and Niobium* (Moller, P.; Cerny, P.; Saupé, F., eds.) Berlin: Springer-Verlag.
- PORTUGAL. Instituto Nacional de Investigação Industrial (1974) – *Análise química de areias e quartzos: preparação da amostra, determinação da perda ao rubro, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, Mn₃O₄, Cr₂O₃*. Lisboa : INII

- PUYAU, V. (1987) - *Petrographie e Geochimie des aplopegmatites hercyniennes de Vila Real (Nord Portugal) et de leurs micas*. D.E.A., Paris VI., Univ. Pierre et Marie Curie.
- RAGLAND, P.C. (1970) - Composition and structural state of the potassic phase in perthites as related to petrogenesis of a granitic pluton. *Lithos*. Vol. 3, p. 167-189.
- RAMOS, J. M. Farinha [et al.] (1980) – O feldspato e o quartzo como matérias-primas na indústria: definição dos seus jazigos minerais, guias para a prospecção e substâncias alternativas. In: *Boletim de Minas*. Vol. 17, nº 1 (Jan. - Mar.), p. 3-15.
- RAMOS, J.M. Farinha (1981) – *Geologia, Geoquímica e interesse mineiro da área de Gonçalo Seixo Amarelo – Benespera (Guarda)*. Univ. Aveiro (Tese de Mestrado) 123 p.
- REIS, R. Pena dos [et al.] (1991) – Estudo da proveniência dos feldspatos potássicos detríticos das "arcosas de Côja": eocénico superior: região de Arganil - Portugal Central. *Memórias e Notícias*. P. Vol.111, p.147-168.
- RIBEIRO, A. [et al.] (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- RINALDI, R.; CERNY P.; FERGUSON, R.B. (1972) - The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. VI Lithium-rubidium-caesium micas. *Canadian Mineralogist*. Vol. 11, p. 690-707.
- RUNDQUIST, D. V. (1982) - Zoning of metallization associated with acid magmatism. In: Evans, A.M., ed., *Metallization Associated with Acid Magmatism*. John Wiley & Sons, p. 279-290.
- RUSSELL, Alison (1992) – Magnetic Separation: an ever more exacting science. *Industrial Minerals*.
- SALLER, Marcus, ed. (1999) – In a state of flux: Feldspar and nepheline syenite reviewed. *Industrial Minerals*. London. Nº 385 p.43-53.
- SALMANG, H. (1955) - *Los fundamentos físicos y químicos de la cerámica*. Barcelona [etc.]: Reverte.
- SANCHÉZ, E.; GARCIA, J.; Ochandio, E. (1990) – Raw material selection criteria for the production of floor and wall tiles. *TBI*. Vol. 6, nº4.
- SANTOS, A. (2001) – A indústria cerâmica para revestimentos. *BNDES. Informe Sectorial*. Nº 17 (Set.) P.1 - 4.
- SANTOS, Elísio Pereira dos (1998) – *Sinterização de finos provenientes de rochas graníticas*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia e Gestão de Recursos Minerais, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SCHALLER, W.T. (1933) - Pegmatites. In: *Ore deposits of the Western States*. New York: AIME, p. 797.
- SCHERMERHORN, L. J.G. (1959) – *Igneous, metamorphic and ore geology of Castro de Aire: S. Pedro do Sul: Sátão region (northern Portugal)*. Lisboa: Serviços geológicos. 617 p.

- SHEARER, C.K.; PAPIKE, J.L.; LAUL, J.C. (1987) - Mineralogical and chemical evolution of rare-element granite-pegmatite system: Harney Peak Granite, Black Hills, South Dakota. *Geochim. Cosmochimi. Acta*. Vol. 51, p. 473 - 486.
- SHMAKIN, B.M. (1979) - Composition and structural state of K - feldspars from some U.S. pegmatites. *American Mineralogist*, Vol. 64, pp. 49-56.
- SILVA, Paulo (2006) – *Caracterização de granitos para rocha ornamental*. Porto: ISEP. (Projecto de Licenciatura)
- SILVA, V. F. (2002) – *Qualificação dos recursos dos minerais cerâmicos pegmatíticos: contributo para a gestão dos recursos pegmatíticos do Minho*. Tese de mestrado, Universidade do Minho.
- SMITH, Joseph V.; BROWN, William L. (1988) - Feldspar minerals: volume 1: crystal structures, physical, chemical, and microtextural properties. 2nd rev. extend. ed. - Berlin: Springer-Verlag.
- SOEN, Oen Ing (1958) – *The geology, petrology and ore deposits of the Viseu region, northern Portugal*. Amsterdam, Drukkerij Holland N.V.
- SOUSA, António Almeida (2002) – Análise geoestatística de dados. [em linha] CVRM, Centro de Geosistemas. Disponível em: <http://alfa.ist.utl.pt/~cvmr/staff/ajs/textos/angeodad.pdf>
- SPENCE, Hugh S. (1932) - *Feldspar*. Ottawa : F.A. Acland .
- STEWART, D.B. (1978) - Petrogenesis of the lithium rich pegmatites. *American Mineralogist*, Vol. 63, p. 970-980.
- SVEDALA (1996) – *Information*. Svedala Crushing and Screening. Nº43, vol. 30.
- TANAGO, J.G. (1991) - Las pegmatitas graníticas de Sierra Albarrana (Córdoba, España): Mineralizaciones de Berulio. *Bol. Geol. Min.*, 102- 4, p. 578-603.
- TANAGO, J.G.; MULAS, F.B.; CACHO, L.G. (1986) - Mineralogia y evolution de las pegmatitas graníticas de la Cabrera (Sistema Central Español). *Bol. Geol. Min.*, t XCVII-I, p. 103-121.
- TANAGO, J.G.; PEINADO, M. (1988) - Los fosfatos de las pegmatitas graníticas de la Sierra de Albarrana y de sus formaciones encajantes. *Bol. Soc. Esp. Min.*, 11-1, p. 26-27.
- TAYLOR, Roger G. (1979)- *Geology of tin deposits*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- TEERTSTRA, D. K. [et al.] (1998) - Rubicline, a new feldspar from San Hero in Campo, Elba, Italy. *American Mineralogist*. Vol. 83, 11/12: 1, p. 1335-1339.
- TEIXEIRA, Carlos (1981) - *Geologia de Portugal*. Lisboa: F. C. G.
- TEIXEIRA, Carlos [et al.] (1963) – *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000: notícia explicativa da folha 18-C: Guarda*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- THÖBE, Karl (1996) – A Unizel na produção de matérias primas feldspáticas. In: *Jornadas da Indústria Mineral Portuguesa*, 2º, Lisboa, p. 161- 165.

- TRABULO, L.C.; GOMES, C. LEAL; NUNES, J. LOPES (1995) - Enquadramento geológico estrutura e paragéneses do grupo pegmatítico de Senhora de Assunção - Aguiar da Beira — Sátão, centro de Portugal. *Memórias* nº4, Publ. Mus. Lab. Min. Geol., Univ. Porto, p. 837-841.
- VELHO, José Lopes (2001) - A evolução económica de Portugal e o impacto no padrão de consumo dos minerais industriais. In: *Livro de actas: II Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento de Geologia. P. C15-C24.
- VELHO, José Lopes; FERNANDES, José Augusto; GOMES, Celso (1998) – *Potencialidades do quartzo de veios e pegmatitos como matéria prima para a indústria metalúrgica*. In: 5º Congresso Nacional de Geologia, 1998, Comunicações. Inst. Geol. Min., Lisboa.
- VELHO, José Lopes; FERNANDES, José Augusto; GOMES, Celso (1999) – Quartzo de depósitos filoneanos e pegmatíticos portugueses: propriedades e aplicações industriais. *Estudos, Notas e Trabalhos*. Instituto Geológico e Mineiro. Tomo 41, pp. 37-47.
- VELHO, José Lopes; GOMES, Celso; ROMARIZ, Carlos (1998) – *Minerais Industriais: Geologia, Propriedades, Tratamentos, Aplicações, Especificações, Produções e Mercados*. [Sl.: sn].
- VIEIRA, B.J. [et al.] (2004) – Caracterização química (terras raras e outros elementos) de solos de Santa Maria e Terceira (Açores, Portugal), que provêm da Meteorização de materiais vulcânicos recentes, nomeadamente materiais piroclásticos, escórias e lavas basálticas: análise grupal e ACP. *Geociências*. Aveiro. Vol. 16, fasc. 1/2
- VLASSOV, K. A. (1952)- *Classification des pegmatites granitiques d'après leur texture et paragenese*. [Texto policopiado].
- VON KNORRING, O.; CONDLIFFE, E. (1984) - On the occurrence of niobium-tantalum and other rare-element minerals in the Meldons aplite, Devonshire. *Mineral. Mag.* 48, p. 443-448.
- WALKER, R.J.; HANSON, G.N.; PAPIKE, J. J. (1989) - Trace element constraints on pegmatite genesis. Tin Mountain pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Contr. Mineral. Petrol.*, 101, p. 290-300.
- WEISS, Norman. (1985) - *S.M.E. Mineral Processing Handbook*. New York: American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc.
- WHATELEY, M. K. G., ed. (1994) - *Mineral resource evaluation: methods and case histories*. London: The Geological Society. (Geological Society special publications).
- WHITWORTH, M. P.; RANKIN, A. H. (1989) - Evolution of fluid phases associated with lithium pegmatites from SE Ireland. *Mineral. Mag.* Vol. 53, nº 371, p. 271-284.
- WOLFE, John A. (1984) - *Mineral resources a world review*. New York: Chapman and Hall.
- ZOLTAI e STOUT (1986) - *Mineralogy: Concept and principles*. Reprinted. New Jersey: Prentice-Hall Inc.